

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-267760

(43)Date of publication of application : 15. 10. 1993

(51)Int. Cl.

H01S 3/096
H01S 3/18

(21)Application number : 04-063970

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 19. 03. 1992

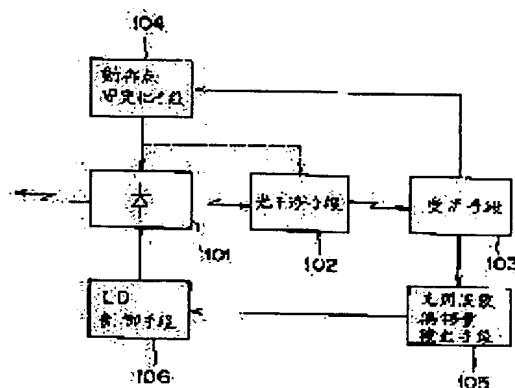
(72)Inventor : MIYATA HIDEYUKI
ONAKA HIROSHI
CHIKAMA TERUMI

(54) DEVICE FOR DRIVING LASER DIODE

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain a laser diode drive device which is stabilized in quantity of light frequency deviation without deteriorating in frequency response characteristics.

CONSTITUTION: Light emitted from a laser diode 101 which is under the control of an operating point stabilizing means 104 is detected by a photodetecting means 103 through the intermediary of an optical interference means 102, the frequency deviation of the emitted light is detected by a light frequency deviation detecting means 105, and the laser diode 101 is controlled in bias or temperature by an LD control means 106 so as to make the frequency deviation of light constant in quantity.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 12. 10. 1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3065423

[Date of registration] 12. 05. 2000

[Number of appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998, 2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-267760^V

(43)公開日 平成5年(1993)10月15日

(51)Int.Cl.⁵

H01S 3/096

3/18

識別記号

庁内整理番号

FI

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数21(全 36 頁)

(21)出願番号 特願平4-63970

(22)出願日 平成4年(1992)3月19日

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

(72)発明者 宮田 英之

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(72)発明者 尾中 寛

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(72)発明者 近間 輝美

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(74)代理人 弁理士 松本 昂

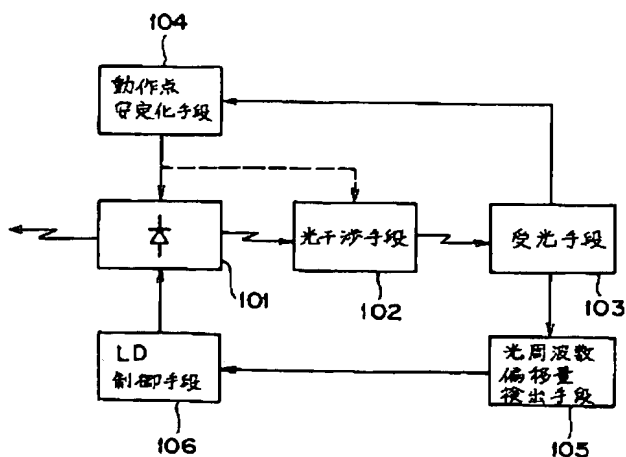
(54)【発明の名称】 レーザダイオードの駆動装置

(57)【要約】

【目的】本発明はレーザダイオードの駆動装置に関し、周波数応答特性を劣化させることなく光周波数偏移量を安定化することができる駆動装置の提供を目的とする。

【構成】レーザダイオード101からの光を光干渉手段102を介して受光手段103で受け、動作点安定化制御(104)が行われているもて、光周波数偏移量を検出(105)し、この光周波数偏移量が一定になるようにレーザダイオード101のバイアス又は温度を制御(106)するようにして構成する。

本発明の第1の構成を示すブロック図



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 変調信号に基づいて周波数変調又は位相変調されるレーザダイオード(101)と、
該レーザダイオードからの光を受け、光周波数弁別特性に従った干渉光を出力する光干渉手段(102)と、
該干渉光を受け、その光強度を電気信号に変換する受光手段(103)と、
該電気信号を受け、上記光干渉手段(102)における上記レーザダイオード(101)の動作点を上記光周波数弁別特性における特定の点を与える光周波数に一致させる動作点安定化手段(104)と、

該動作点安定化手段によって上記動作点の安定化制御が行われているもとで、上記受光手段(103)からの電気信号に基づき光周波数偏移量を検出する光周波数偏移量検出手段(105)と、
該光周波数偏移量検出手段により検出された光周波数偏移量が一定になるように上記レーザダイオード(101)のバイアス又は温度を制御するLD制御手段(106)とを備えたことを特徴とするレーザダイオードの駆動装置。

【請求項2】 上記特定の点を与える光周波数は、上記光周波数弁別特性における極大値又は極小値に対応する光周波数であり、

上記光周波数偏移量検出手段は、上記受光手段からの電気信号から得られる上記干渉光の光強度の平均値に基づき上記光周波数偏移量を検出し、

上記LD制御手段は、該平均値と所定値の間の誤差値を演算し、該誤差値を上記レーザダイオードのバイアス又は温度に帰還することを特徴とする請求項1に記載のレーザダイオードの駆動装置。

【請求項3】 上記動作点安定化手段は、上記レーザダイオードの発振周波数又は上記光干渉手段の干渉特性を低周波数で変化させる低周波発振器(405)と、該低周波発振器からの発振出力を参照信号として上記受光手段からの電気信号を同期検波する同期検波回路(406)とを含み、

該同期検波回路からの同期検波信号に基づき、上記レーザダイオードの発振周波数又は上記光干渉手段の干渉特性が制御されることを特徴とする請求項2に記載のレーザダイオードの駆動装置。

【請求項4】 上記低周波発振器(405)が上記レーザダイオードの発振周波数を変化させる場合の変化幅は、上記LD制御手段によって演算される上記誤差値の大きさに基づいて制御されることを特徴とする請求項3に記載のレーザダイオードの駆動装置。

【請求項5】 上記特定の点を与える光周波数は、上記光周波数弁別特性における極大点を与える光周波数と該極大点に隣接する極小点を与える光周波数の平均光周波数であり、

上記光周波数偏移量検出手段は、上記受光手段からの電気信号における上記変調信号の周波数に相当する周波数

2

成分の振幅の平均値又は実効値に基づき上記光周波数偏移量を検出し、

上記LD制御手段は、該平均値又は実効値と所定値の間の誤差値を演算し、該誤差値を上記レーザダイオードのバイアス又は温度に帰還することを特徴とする請求項1に記載のレーザダイオードの駆動装置。

【請求項6】 上記動作点安定化手段は、上記受光手段からの電気信号に基づいて上記平均光周波数と上記動作点の差を検出する動作点検出回路(1001)と、該差が零又は所定値になるように上記レーザダイオードの発振周波数又は上記光干渉手段の干渉特性を制御する動作点制御回路(1002)とを含むことを特徴とする請求項5に記載のレーザダイオードの駆動装置。

【請求項7】 上記LD制御手段は上記レーザダイオードのバイアスを制御し、

上記動作点安定化手段は、上記レーザダイオードの温度を制御することにより、該レーザダイオードの自動周波数制御を行うことを特徴とする請求項3又は6に記載のレーザダイオードの駆動装置。

【請求項8】 上記光干渉手段は光周波数弁別特性が互いに相補的な特性を有する2種類の干渉光を出力し、
上記受光手段は該2種類の干渉光をそれぞれ受ける第1及び第2の受光器(702, 703)であり、

該第1及び第2の受光器からの各電気信号の差成分のDCレベルに基づいて上記光周波数偏移量検出手段が動作することを特徴とする請求項3に記載のレーザダイオードの駆動装置。

【請求項9】 上記光干渉手段は光周波数弁別特性が互いに相補的な特性を有する2種類の干渉光を出力し、
上記受光手段は該2種類の干渉光をそれぞれ受ける第1及び第2の受光器(702, 703)であり、

該第1及び第2の受光器からの各電気信号の差成分のDCレベルに基づいて上記動作点安定化手段及び上記光周波数偏移量検出手段が動作することを特徴とする請求項6に記載のレーザダイオードの駆動装置。

【請求項10】 上記第1及び第2の受光器(702, 703)からの各電気信号の和成分に基づいて上記レーザダイオードの発振出力を検出し、該発振出力が一定になるような制御を行う自動光出力制御回路(709)をさらに備えたことを特徴とする請求項8又は9に記載のレーザダイオードの駆動装置。

【請求項11】 上記変調信号におけるマーク率を計測するマーク率モニタ回路(611)をさらに備え、
該マーク率モニタ回路で計測されたマーク率は、上記動作点安定化手段又は上記LD制御手段に帰還されることを特徴とする請求項3又は6に記載のレーザダイオードの駆動装置。

【請求項12】 上記レーザダイオードは3電極分布帰還型のレーザダイオードであり、

該レーザダイオードのセンタ電極に与えるバイアスが上

3

記LD制御手段により制御されることを特徴とする請求項1又は7に記載のレーザダイオードの駆動装置。

【請求項13】 上記レーザダイオードは複数備えられ、

上記光干渉手段は、上記各レーザダイオードからの空間的に分割された複数の光を並列に受け、各々に対応する干渉光を並列に出力し、

上記受光手段、上記動作点安定化手段、上記光周波数偏移量検出手段及び上記LD制御手段は、上記レーザダイオードの数に応じて複数備えられていることを特徴とする請求項1に記載のレーザダイオードの駆動装置。

【請求項14】 上記レーザダイオードは複数備えられ、

上記光干渉手段は、上記各レーザダイオードからの空間的に分割された複数の光を並列に受け、各々に対応する干渉光を並列に出力し、

上記受光手段は上記レーザダイオードの数に応じて複数備えられ、

上記動作点安定化手段、上記光周波数偏移量検出手段及び上記LD制御手段は、上記複数の受光手段からの各電気信号に基づいて時分割動作することを特徴とする請求項1に記載のレーザダイオードの駆動装置。

【請求項15】 上記光干渉手段における上記複数のレーザダイオードの各動作点が上記光周波数弁別特性における複数の上記特定の点を与える光周波数にそれぞれ一致するように上記各動作点が安定化されることを特徴とする請求項13又は14に記載のレーザダイオードの駆動装置。

【請求項16】 上記各動作点は光周波数軸上で等間隔に設定されることを特徴とする請求項15に記載のレーザダイオードの駆動装置。

【請求項17】 上記光干渉手段における上記複数のレーザダイオードの各動作点が上記光周波数弁別特性における共通の上記特定の点を与える光周波数にそれぞれ一致するように上記各動作点が安定化されることを特徴とする請求項13又は14に記載のレーザダイオードの駆動装置。

【請求項18】 変調信号に基づいて周波数変調又は位相変調されるレーザダイオード(201)と、

該レーザダイオードからの光を受け、内部に第1の偏光子(202)が挿入され、光周波数弁別特性に従った干渉光を出力する光干渉手段(203)と、

該光干渉手段からの反射光を受け、順次配置される第1の1/4波長板(204)及び第2の偏光子(205)と、

該第2の偏光子からの2種類の光を各々受け、各々の光強度を電気信号に変換する第1及び第2の受光手段(206, 207)と、

該第1及び第2の受光手段からの電気信号の差成分から得られる情報に基づいて、上記レーザダイオード(201)の動作点が上記光周波数弁別特性の極大値又は極小値に

4

対応する光周波数に一致するように、上記レーザダイオードの発振周波数又は上記光干渉手段(203)の干渉特性に帰還をかける帰還手段(208)と、

上記光干渉手段(203)からの透過光を受け、その光強度を電気信号に変換する第3の受光手段(209)と、

上記帰還手段(208)によって上記レーザダイオード(201)の動作点の安定化制御が行われているもとで、上記第3の受光手段(209)からの電気信号に基づいて得られる上記透過光の光強度の平均値から光周波数偏移量を検出する光周波数偏移量検出手段(210)と、

該平均値と所定値の間の誤差値を演算し該誤差値を上記レーザダイオード(201)のバイアス又は温度に帰還するLD制御手段(211)とを備えたことを特徴とするレーザダイオードの駆動装置。

【請求項19】 変調信号に基づいて周波数変調又は位相変調されるレーザダイオード(201)と、

該レーザダイオードからの光を受け、内部に第2の1/4波長板(301)が挿入され、光周波数弁別特性に従った干渉光を出力する光干渉手段(302)と、

該光干渉手段からの反射光を受け、順次配置される第1の1/4波長板(204)及び第2の偏光子(205)と、

該第2の偏光子からの2種類の光を各々受け、各々の光強度を電気信号に変換する第1及び第2の受光手段(206, 207)と、

該第1及び第2の受光手段からの電気信号の差成分から得られる情報に基づいて、上記レーザダイオード(201)の動作点が上記光周波数弁別特性の極大値又は極小値に対応する光周波数に一致するように、上記レーザダイオードの発振周波数又は上記光干渉手段(302)の干渉特性

に帰還をかける帰還手段(208)と、

上記光干渉手段(302)からの透過光を受ける第3の偏光子(303)と、

該第3の偏光子からの少なくとも1種類の光を受け、その光強度を電気信号に変換する第3の受光手段(209)と、

上記帰還手段(208)によって上記レーザダイオード(201)の動作点の安定化制御が行われているもとで、上記第3の受光手段(209)からの電気信号に基づいて得られる上記透過光の光強度の平均値から光周波数偏移量を検出する光周波数偏移量検出手段(210)と、

該平均値と所定値の間の誤差値を演算し該誤差値を上記レーザダイオード(201)のバイアス又は温度に帰還するLD制御手段(211)とを備えたことを特徴とするレーザダイオードの駆動装置。

【請求項20】 上記レーザダイオードは複数備えられ、

上記光干渉手段は、上記各レーザダイオードからの光を受けて、各々に対応する干渉光を出力し、

上記第1の1/4波長板及び上記第2の偏光子は、上記光干渉手段からの各反射光を受け、

5

上記第 1 及び第 2 の受光手段は、上記第 2 の偏光子からの 2 種類の光を各々受け、各々の光強度を電気信号に変換し、

上記帰還手段は、上記第 1 及び第 2 の受光手段からの電気信号の差成分から得られる情報に基づいて、上記各レーザダイオードの動作点を光周波数弁別特性の極大値又は極小値に一致するように、上記各レーザダイオードのバイアス又は温度を制御することにより、上記各レーザダイオードの自動周波数制御を行い、

上記第 3 の受光手段は、上記光干渉手段からの各透過光を受け、各々の光強度を電気信号に変換し、

上記光周波数偏移量検出手段は、上記第 3 の受光手段からの各電気信号に基づいて得られる上記各透過光の光強度の各平均値からそれぞれ光周波数偏移量を測定し、

上記 LD 制御手段は、該平均値と所定値の間の各誤差値を演算し該各誤差値を上記各レーザダイオードのバイアス又は温度に帰還することを特徴とする請求項 18 又は 19 に記載のレーザダイオードの駆動装置。

【請求項 21】 上記レーザダイオードからの光の一部又は上記第 3 の受光手段からの電気信号に基づいて、上記レーザダイオードの発振出力が所定値に安定化されるように、該レーザダイオードの発振出力に帰還をかける自動光出力制御手段をさらに備えたことを特徴とする請求項 18 乃至 20 のいずれかに記載のレーザダイオードの駆動装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

(目次)

産業上の利用分野

従来の技術

発明が解決しようとする課題

課題を解決するための手段

作用

実施例

発明の効果

【0002】

【産業上の利用分野】 本発明はレーザダイオードの駆動装置に関する。近年、レーザダイオード（半導体レーザ）から出力されたコヒーレンシンの高いレーザ光に対して直接光周波数変調又は位相変調を行うことによって光通信や光計測を行うシステムが実用化されつつある。

【0003】 例えば、光通信システムとして、コヒーレント光を用いた FSK 方式（周波数シフトキーイング方式）による光通信システムが挙げられる。この FSK 方式では、送信されるべきデータの「0」又は「1」の 2 値論理に対応して、レーザダイオードからの出力の光周波数が第 1 周波数 f_1 又は第 2 周波数 f_2 に変化させられるような周波数変調が行われる。

【0004】 この場合、レーザダイオード自身の経年変化や、レーザダイオードを含む光源モジュールの経年変

6

化、レーザダイオードのバイアス電流の変動等によって、変調効率、即ち単位バイアス電流あたりの周波数可変量が変化する。これにより、レーザダイオードを同一の駆動電流で変調しても、変調指数、即ち中心光周波数 f_0 を中心とした前述の第 1 周波数 f_1 と第 2 周波数 f_2 の間の光周波数偏移量が初期設定値からずれてくる。

【0005】 このずれは、光通信システムの受信系において、光信号の受信感度を著しく劣化させてしまう。このため、光周波数偏移量を予め定められた値に安定化させるための制御技術が要求される。

【0006】

【従来の技術】 我々は先にレーザ光の光周波数偏移量の測定・制御装置を提案した（特願平 3-233467 号）。この装置における光周波数偏移量の制御態様においては、レーザダイオードの光周波数偏移量が一定になるように、レーザダイオードの変調度を制御している。つまり、バイアス電流に重畳してレーザダイオードに供給する変調電流の振幅を制御することによって、レーザダイオードの経年変化等にかかわらず一定の光周波数偏移量を得るようにしている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、上述のように変調電流の振幅を制御する場合、レーザダイオードの周波数応答特性が劣化することがあった。

【0008】 本発明の目的は、レーザダイオードの周波数応答特性を劣化させることなくレーザダイオードの光周波数偏移量を安定化することができるレーザダイオードの駆動装置を提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】 図 1 は本発明のレーザダイオードの駆動装置の第 1 の構成を示すブロック図である。この装置は、変調信号に基づいて周波数変調又は位相変調されるレーザダイオード 101 と、レーザダイオード 101 からの光を受け、光周波数弁別特性に従った干渉光を出力する光干渉手段 102 と、該干渉光を受け、その光強度を電気信号に変換する受光手段 103 と、該電気信号を受け、光干渉手段 102 におけるレーザダイオード 101 の動作点を上記光周波数弁別特性における特定の点を与える光周波数に一致させる動作点安定化手段 104 と、動作点安定化手段 104 によって上記動作点の安定化制御が行われているもて、受光手段 103 からの電気信号に基づき光周波数偏移量を検出する光周波数偏移量検出手段 105 と、光周波数偏移量検出手段 105 により検出された光周波数偏移量が一定になるようにレーザダイオード 101 のバイアス又は温度を制御する LD 制御手段 106 とを備える。

【0010】 図 2 は本発明のレーザダイオードの駆動装置の第 2 の構成を示す図である。この装置は、変調信号に基づいて周波数変調又は位相変調されるレーザダイオード 201 と、レーザダイオード 201 からの光を受

け、内部に第1の偏光子202が挿入され、光周波数弁別特性に従った干渉光を出力する光干渉手段203と、光干渉手段203からの反射光を受け、順次配置される第1の1/4波長板204及び第2の偏光子205と、第2の偏光子205からの2種類の光を各々受け、各々の光強度を電気信号に変換する第1及び第2の受光手段206、207と、第1及び第2の受光手段206、207からの電気信号の差成分から得られる情報に基づいて、レーザダイオード201の動作点が上記光周波数弁別特性の極大値又は極小値に対応する光周波数に一致するように、レーザダイオード201の発振周波数又は光干渉手段203の干渉特性に帰還をかける帰還手段208と、光干渉手段203からの透過光を受け、その光強度を電気信号に変換する第3の受光手段209と、帰還手段208によってレーザダイオード201の動作点の安定化制御が行われているもとで、第3の受光手段209からの電気信号に基づいて得られる上記透過光の光強度の平均値から光周波数偏移量を検出する光周波数偏移量検出手段210と、該平均値と所定値の間の誤差値を演算し該誤差値をレーザダイオード201のバイアス又は温度に帰還するLD制御手段211とを備える。

【0011】図3は本発明のレーザダイオードの駆動装置の第3の構成を示す図である。この装置は、変調信号に基づいて周波数変調又は位相変調されるレーザダイオード201と、該レーザダイオードからの光を受け、内部に第2の1/4波長板301が挿入され、光周波数弁別特性に従った干渉光を出力する光干渉手段302と、光干渉手段302からの反射光を受け、順次配置される第1の1/4波長板204及び第2の偏光子205と、第2の偏光子205からの2種類の光を各々受け、各々の光強度を電気信号に変換する第1及び第2の受光手段206、207と、第1及び第2の受光手段206、207からの電気信号の差成分から得られる情報に基づいて、レーザダイオード201の動作点が上記光周波数弁別特性の極大値又は極小値に対応する光周波数に一致するように、レーザダイオード201の発振周波数又は光干渉手段302の干渉特性に帰還をかける帰還手段208と、光干渉手段302からの透過光を受ける第3の偏光子303と、第3の偏光子303からの少なくとも1種類の光を受け、その光強度を電気信号に変換する第3の受光手段209と、帰還手段208によってレーザダイオード201の動作点の安定化制御が行われているもとで、第3の受光手段209からの電気信号に基づいて得られる上記透過光の光強度の平均値から光周波数偏移量を検出する光周波数偏移量検出手段210と、該平均値と所定値の間の誤差値を演算し該誤差値をレーザダイオード201のバイアス又は温度に帰還するLD制御手段211とを備える。

【0012】

【作用】本発明の第1乃至第3の構成のいずれかによる

と、光周波数偏移量検出手段により検出された光周波数偏移量が一定になるようにレーザダイオードのバイアス又は温度が制御されるので、レーザダイオードの周波数応答特性が劣化しにくくなる。レーザダイオードの光周波数偏移量がどのように安定化されるかは以下の説明から明らかになる。

【0013】

【実施例】以下本発明の実施例を説明する。図4は本発明の第1の構成の第1実施例を示すレーザダイオードの駆動装置のブロック図である。

【0014】レーザダイオード401から出力される例えば前方光は、光データ D_h として伝送路Lに入射される。この光データ D_h は、送信されるべきデータ D_{in} の「0」又は「1」の2値論理に対応してLD駆動回路402から出力される駆動電流に基づいて、その光周波数が第1周波数 f_1 又は第2周波数 f_2 に周波数変調(FSK変調)される。尚、光データ D_h に対するデータ変調は、位相変調(PSK変調:位相シフトキーイング)でもよい。

【0015】また、レーザダイオード401からの前方光でなく後方光が光データ D_h として伝送路Lに入射されてもよい。この場合は、レーザダイオード401から後述する光干渉器403へ出力されるレーザ光は前方光となる。

【0016】光干渉器403は、レーザダイオード401からの例えば後方光 H_0 を受けて、後述する光周波数弁別特性に従った干渉光 H_i を出力する。受光器404は、干渉光 H_i を受けて、その光強度に対応する電気信号ELを出力する。

【0017】本実施例では、レーザダイオード401における光周波数偏移量を安定化させるために、まず、低周波発振器405と同期検波回路406が、電気信号ELに基づいて、レーザダイオード401の動作点(中心光周波数 f_0)が光干渉器403における光周波数弁別特性の極大値又は極小値に対応する光周波数に一致するように制御を行う。

【0018】そのために、低周波発振器405は、制御線 L_1 を介してレーザダイオード401の発振周波数又は光干渉器403における干渉特性を低周波数で変化させる。低周波数とは、伝送路Lにおけるデータの伝送速度に対応する周波数に対して十分に低い周波数という意味であり、例えば100Hzである。

【0019】一方、同期検波回路406は、受光器404からの電気信号ELと低周波発振器405からの発振出力を入力として、電気信号ELに対して同期検波を行い、低周波発振器405からの発振出力に同期した信号成分を抽出する。さらに、同期検波回路406は、抽出した信号成分に基づいて、制御線 L_2 を介して、レーザダイオード401の発振周波数又は光干渉器403における干渉特性に負帰還をかける。

【0020】図5はレーザダイオード401として使用することができる3電極DFB型レーザダイオードの構成を模式的に示す図である。このレーザダイオードは、活性層501が長いDFB型（分布帰還型）のレーザダイオード素子に、長手方向概略中央部に1/4波長の位相シフト点502を有する浅いグレーティング503を形成し、裏面側には共通電極504を、表面側には分割された電極505、506及び507を形成して構成される。表面側の中央の電極506に供給する電流を I_c と称し、表面側の縁部の電極505及び507に供給する電流を I_s と称する。尚、符号508及び509は活性層501の両端に形成されたAR膜（無反射膜）を表す。

【0021】図6はLD駆動回路402における接続図である。符号601はレーザダイオード401の温度を調節するペルチェ素子等の温度制御素子であり、この温度制御素子601は、温度制御入力端子602に入力した信号に基づき制御される。

【0022】バイアス回路603から供給されるバイアス電流は、その一方でインダクタ604を介してレーザダイオード401のサイド505及び507に入力し、他方でインダクタ605を介してセンター電極506に入力する。

【0023】変調回路606は、データ入力端子607に入力したデータ（ D_{in} ）に基づき一定振幅の変調電流を出力し、この変調電流は、キャパシタ608を介してセンター電極506に入力する。

【0024】また、バイアス制御入力端子609に入力した電流も、インダクタ610を介してセンター電極506に供給される。変調回路606に付随的に設けられたマーク率モニタ回路611は、入力データ D_{in} におけるマーク率をリアルタイムで検出し、その検出値に対応した信号をマーク率検出出力端子612から出力する。バイアス回路603にはAPC入力端子が設けられており、この端子に入力した信号に基づいて、インダクタ604を介してサイド電極505及び507に供給されるバイアス電流が調節される。

【0025】マーク率モニタ回路611、マーク率検出出力端子612及びAPC入力端子613についてはさらに後述する。再び図4に戻り、低周波発振器405及び同期検波回路406がレーザダイオード402の発振周波数を制御する場合には、低周波発振器405からの制御線 L_1 及び同期検波回路406からの制御線 L_2 が、図4の実線で示されるようにLD駆動回路402に接続されることにより、レーザダイオード401のバイアス電流又は温度が変化させられる。

【0026】この実施例では、低周波発振器405からの制御線 L_1 はLD駆動回路402のバイアス制御入力端子609に接続され、同期検波回路406からの制御線 L_2 は温度制御入力端子602に接続される。このよ

うな接続を行う理由については後述する。

【0027】一方、低周波発振器405及び同期検波回路406が光干渉器403における干渉特性を制御する場合には、低周波発振器405からの制御線 L_1 及び同期検波回路406からの制御線 L_2 が、図4の破線で示されるように光干渉器403に接続されることにより、光干渉器403の共振器長や遅延時間差等の物理量が低周波発振器405及び同期検波回路406の各出力によって変化させられる。

【0028】これらの物理量の具体的な変更方法としては、光弾性効果を利用して変化させる、電気光学効果を利用して変化させる、機械的外力を加えて変化させる、熱光学効果を利用して変化させる、等の方法を用いることができる。

【0029】次に、上述のように低周波発振器405及び同期検波回路406がレーザダイオード403の動作点を制御しているもとで、図4の比較器407の第1の入力には受光器404から出力される電気信号 E_L の直流成分電圧 E_L' が光強度の平均値に対応する成分として入力され、第2の入力には予め定められた設定電圧 V_1 が入力される。

【0030】そして、比較器407からLD駆動回路607のバイアス制御入力端子609へは、上記2つの信号の誤差成分が負帰還される。ここで、受光器404から出力される電気信号 E_L の直流成分電圧 E_L' は、干渉光 H_i の光強度の平均値に対応し、また、設定電圧 V_1 は光周波数偏移量の設定値に対応している。

【0031】図4の装置の具体的な動作について以下に説明する。図7のAは図4の光干渉器403としてマッハツェンダ干渉器が使用された場合の同干渉器の光周波数弁別特性の一部を示すグラフ、図8のAは図4の光干渉器403としてファブリ・ペロー干渉器が使用された場合の同干渉器の光周波数弁別特性の一部を示すグラフである。

【0032】また、各グラフの実線と破線の2つの特性は、光干渉器403が干渉光 H_i として相補的な2つの干渉光のうち一つを出力し得るような構成を有する場合における各々の干渉光に対する光周波数弁別特性に対応している（後述する第2の実施例参照）。第1の実施例では、実線又は破線の任意のいずれか一方の特性のみが対象となる。

【0033】光干渉器403としてマッハツェンダ干渉器が使用された場合には、その光周波数弁別特性は、図7のAのように、光周波数の変化に対して光強度 P の値が正弦波状に変化する特性を呈し、極大点MAXと極小点MINが交互に現れる。

【0034】一方、光干渉器403としてファブリ・ペロー干渉器が使用された場合には、その光周波数弁別特性は、図8のAのように、光周波数の変化に対する光強度 P について、実線の弁別特性の場合には極大点MAX

の位置で光強度 P が急峻に変化するパルス状の波形が周期的に現れる特性を呈し、破線の弁別特性の場合には極小点 MIN の位置で光強度 P が急峻に変化するパルス状の波形が周期的に現れる特性を呈する。

【0035】本実施例においては、図4のレーザダイオード401における光周波数偏移量を安定化させるために、まず、図4の低周波発振器405と同期検波回路406が、レーザダイオード401の動作点が光干渉器403における図7のA又は図8のA等の光周波数弁別特性の極大点 MAX 又は極小点 MIN に対応する光周波数に常に一致するように制御を行う。このような制御を行う理由については後述する。

【0036】図9は、低周波発振器405による制御動作の一例を説明するための波形図である。尚、以下に説明する例は、低周波発振器405からの低周波の発振成分が、制御線 L_1 及びバイアス制御入力端子609を介して、レーザダイオード401のバイアス電流に重畳される例である。

【0037】レーザダイオード401においては、バイアス電流に、送信データ D_{in} の「0」又は「1」の2値論理に対応して変調回路606（図6参照）から出力される2値の変調電流 I_p が重畳されることにより、後方光 H_0 の光周波数が中心光周波数 f_0 を中心として第1周波数 f_1 と第2周波数 f_2 の間で、図9の (I_p) で示されるように、矩形波状に変調される。この状態で、バイアス電流に低周波発振器405からの低周波の発振成分が重畳されると、 f_0 、 f_1 及び f_2 は、上述の発振出力の発振周波数に同期した周波数 f_i で波状にうねる信号となる。

【0038】図9のように変調波形が低い周波数でうねる後方光 H_0 は、図7のA又は図8のAに示されるような光周波数弁別特性を有する光干渉器403によって干渉光 H_i に変換され、さらに、この干渉光 H_i は受光器404によって電気信号 E_L に変換され、この電気信号 E_L が同期検波回路406に入力する。同期検波回路406は、電気信号 E_L に対して、低周波発振器405の発振出力によって同期検波を行う。

【0039】この結果得られる同期検波信号の光周波数特性は、光干渉器403における光周波数弁別特性を微分した波形と等価となる。図7のBは、光干渉器403としてマッハツェンダ干渉器が使用された場合の同期検波信号の光周波数特性を図7のAの光干渉器403の光周波数弁別特性に対応させて示した図であり、図8のBは、光干渉器403としてファブリ・ペロー干渉器が使用された場合の同期検波信号の光周波数特性を図8のAの光干渉器403の光周波数弁別特性に対応させて示した図である。

【0040】尚、図7のB及び図8のBの実線の同期検波信号の光周波数特性は、各々図7のA及び図8のAの実線の光周波数弁別特性に対応し、図7のB及び図8の

Bの破線の同期検波信号の光周波数特性は各々図7のA及び図8のAの破線の光周波数弁別特性に対応する。

【0041】図7及び図8から明らかなように、図4のレーザダイオード401が発生する後方光 H_0 の中心光周波数 f_0 が、干渉光 H_i の光強度 P が極大値 MAX 又は極小値 MIN となるような周波数である場合には、同期検波信号の値は0になる。

【0042】そして、後方光 H_0 の中心光周波数 f_0 が、干渉光 H_i の光強度 P が極大値 MAX 又は極小値 MIN からずれた値となるような周波数になるに従って、同期検波信号の値は、0から正又は負の方向に、図7のB又は図8のBに示される光周波数特性に従って変化する。

【0043】以上の事実に基づいて、同期検波回路406は、図7のB又は図8のBに例示されるような同期検波信号の極性を逆にした信号成分を、制御線 L_2 を介して、LD駆動回路402の温度制御入力端子602に入力する。

【0044】このような制御動作によって、レーザダイオード401の発振周波数が、干渉光 H_i の光強度 P が極大値 MAX 又は極小値 MIN となるような中心光周波数 f_0 になるように、負帰還がかけられる。即ち、レーザダイオード401の動作点が光干渉器403における光周波数弁別特性の極大値 MAX 又は極小値 MIN に対応する光周波数に常に一致するような制御動作が実現される。

【0045】尚、低周波発振器405からの制御線 L_1 又は同期検波回路406からの制御線 L_2 の接続先は、光干渉器403又はLD駆動回路402の温度制御入力端子602もしくはバイアス制御入力端子609のいずれであってもよい。制御線 L_1 及び制御線 L_2 の接続先が同じものであることは、前述した制御動作に何ら影響を与えるものではない。

【0046】以上のように低周波発振器405及び同期検波回路406がレーザダイオード401の動作点を制御しているもとでレーザダイオード401における光周波数偏移量を安定化させるための具体的な動作原理について、次に説明する。

【0047】上述した制御状態のもとでレーザダイオード401の発振周波数が変調回路606からの2値の変調電流 I_p に基づいて第1周波数 f_1 と第2周波数 f_2 の間で変化している場合の、 f_2 と f_1 の周波数間隔を $\Delta f = f_1 - f_2$ とし、これを光周波数偏移量と定義する。

【0048】そして、例えば光干渉器403としてマッハツェンダ干渉器が使用され、レーザダイオード401の中心光周波数 f_0 が光干渉器403における光周波数弁別特性の極大値 MAX を与える光周波数に一致させられているとする。

【0049】このような場合において、光周波数偏移量

が、図10の $\Delta f'$ で示されるように、所定値 Δf よりも小さくなると、 $\Delta f'$ のもとで光干渉器403から出力される干渉光 H_i の光強度 P' は、所定値 Δf のもとで光干渉器403から出力される干渉光 H_i の光強度 P よりも強くなる。逆に、光周波数偏移量が、図10の $\Delta f''$ で示されるように、 Δf よりも大きくなると、 $\Delta f''$ に対応する光強度 P'' は、 Δf に対応する光強度 P よりも弱くなる。

【0050】ここで、 Δf 、 $\Delta f'$ 及び $\Delta f''$ の各両端は、第1周波数 f_1 及び第2周波数 f_2 に対応して定まるが、実際には、 f_1 から f_2 への光周波数の遷移及びこの逆の遷移は、図10の光周波数弁別特性の特性曲線に沿って行われる。従って、光周波数偏移量 Δf は光強度 P の平均値 P_{av} として監視することが可能となる。

【0051】図11は、光干渉器403としてマッハツェンダ干渉器が使用された場合における光強度の平均値と光周波数偏移量の関係を表すグラフである。同グラフ中の実線と破線の2つの特性は、レーザダイオード401の中心光周波数 f_0 が光干渉器403における光周波数弁別特性の極大値MAXに対応する光周波数に一致させられている場合及び極小値MINに対応する光周波数に一致させられている場合の各々に対応する。尚、一点鎖線の特性については、後述する第2の実施例において説明する。

【0052】いま、例えばレーザダイオード401の中心光周波数 f_0 が光干渉器403における光周波数弁別特性の極大値MAXに対応する光周波数に一致させられている場合には、図11の実線の特性からわかるように、光周波数偏移量が、図11の $\Delta f'$ で示されるように、所定値 Δf より小さくなると、 $\Delta f'$ に対応する光強度 P の平均値 P_{av}' は、 Δf に対応する平均値 P_{av} より大きくなり、逆に、光周波数偏移量が、図11の $\Delta f''$ で示されるように、所定値 Δf よりも大きくなると、 $\Delta f''$ に対応する光強度 P の平均値 P_{av}'' は、 Δf に対応する平均値 P_{av} より小さくなる。

【0053】図12は、図11のグラフが得られることを実証する実験データを示す図であり、横軸には、光周波数偏移量を模擬するための、レーザダイオードへの変調電流に相当するパルスパルスゼネレータ(PPG)の出力電圧がプロットされ、縦軸には、光強度の平均値を模擬するためのPINダイオードに流れる電流がプロットされている。本実験データのうち、白丸のデータでプロットされるカーブは図11の実線の特性に対応し、黒丸のデータでプロットされるカーブは図11の破線の特性に対応する。

【0054】以上の事実に基づいて、図4の比較器407の第1の入力には受光器404から出力される電気信号 E_L の直流成分電圧 E_L' が光強度の平均値に対応する成分として入力され、第2の入力には予め定められた設定電圧 V_1 が入力される。この設定電圧 V_1 は、図1

1のグラフ上の V_1 ($=P_{av}$)に対応し、 V_1 に対応する Δf が、所定値に安定化させられるべき光周波数偏移量ということになる。

【0055】そして、比較器407からLD駆動回路402のバイアス制御入力端子609には、上記2つの信号の誤差成分($V_1 - E_L'$)が負帰還される。即ち、干渉光 H_i における光周波数偏移量が所定値 Δf に等しければ、比較器407の出力は0である。また、光周波数偏移量が、図11の $\Delta f'$ のように、 Δf よりも小さくなると、比較器407の出力である誤差成分は正となり、この正の誤差成分が、例えばレーザダイオード401のバイアス電流を減少させる。逆に、光周波数偏移量が図11の $\Delta f''$ のように、 Δf よりも大きくなると、比較器407の出力である誤差成分は負となり、この負の誤差成分が、例えばレーザダイオード401のバイアス電流を増大させる。

【0056】このようにして負帰還がかけられたバイアス電流に基づいてレーザダイオード401を駆動することによって、光周波数偏移量を安定化させる制御動作が実現される。尚、この制御動作においては、レーザダイオード401のバイアス電流を減少或いは増大させることに変えて、それぞれレーザダイオード401の温度を低下或いは上昇させるようにしてもよい。

【0057】以上の第1の実施例において、特に、低周波発振器405からの低周波の発振成分がLD駆動回路402の温度制御入力端子602又はバイアス制御入力端子609に入力され、同期検波回路406の出力信号も同じくLD駆動回路402の温度制御入力端子602又はバイアス制御入力端子609に負帰還される場合には、レーザダイオード401における自動周波数制御(AFC)が同時に実現されている。

【0058】即ち、この場合には、レーザダイオード401の中心光周波数 f_0 が光干渉器403における光周波数弁別特性の極大値又は極小値に対応する光周波数に常に一致させられるように制御が行われる結果、レーザダイオード401の中心周波数 f_0 は常に一定の値に安定化される。

【0059】しかし、この場合、比較器407からの誤差信号をLD駆動回路402の温度制御入力端子602又はバイアス制御入力端子609に帰還させると、AFCを含む前者の制御動作が阻害されるおそれがある。

【0060】一方、図5のレーザダイオードを含めて一般的なレーザダイオードにおいては、制御可能な単位バイアス電流変化に対する光周波数偏移量の方が制御可能な単位温度変化に対する光周波数偏移量に比べて著しく小さいという事実がある。

【0061】そこで、上述のおそれがある場合には、図4に図示された構成のように、比較器407からの誤差信号をLD駆動回路402のバイアス制御入力端子609に帰還させることによってレーザダイオード401の

光周波数偏移量の安定化を行い、同期検波回路406からの制御信号を温度制御入力端子602に帰還させることによって光干渉器403の動作点の安定化及びAFCを行うようにするのである。

【0062】レーザダイオード401の光周波数偏移量を安定化するにあたって比較器407によりレーザダイオード401のバイアスを変化させる場合の動作原理をさらに詳述する。

【0063】図13は図5に示したような3電極型のレーザダイオードのI-L特性（バイアス電流の変化に対する光出力強度の変化を表す特性）を示すグラフである。このグラフにおいて、縦軸は光出力強度、横軸は I_S バイアス（サイド電極505及び507に与える電流 I_S におけるバイアス成分）及び温度が一定であるときの I_C バイアス（センタ電極506に与える電流 I_C のバイアス成分）を表している。

【0064】実線で表されるのは、初期状態におけるレーザダイオードのI-L特性である。 I_C バイアスがしきい値を超えるとレーザダイオードはレーザ発振を開始し、 I_C バイアスが增加するのに従って光出力強度も増大していき、モードジャンプにより光出力強度が不連続に減少した後再び I_C バイアスの増加に従って光出力強度も増大する。

【0065】一方、破線で表されるのは、レーザダイオードが経時劣化した後のI-L特性を表しており、この特性は、実線で表される経時劣化前の特性曲線を I_C バイアス増加方向に平行移動させるとともにその傾斜をわずかに減少させて得られるものである。

【0066】実線で表される経時劣化前の特性曲線におけるa点、b点、c点では、この順に I_C バイアスが增大しており、a点を与える I_C バイアスはモードジャンプ点に対応する I_C バイアスよりもわずかに大きい。また、破線で表される経時劣化後の特性曲線におけるa'点、b'点、c'点は、それぞれ経時劣化前の特性曲線におけるa点、b点、c点に対応する。

【0067】図14(A)は、図13のI-L特性の各点におけるFM変調効率（単位バイアス電流の変化に対する光周波数偏移量の変化）の周波数特性を表すグラフであり、この特性を周波数応答特性と称する。実線で表されるのは、a点又はa'点でレーザダイオードを動作させたときの特性、破線で表されるのはb点又はb'点でレーザダイオードを動作させたときの特性、一点鎖線で表されるのはc点又はc'点でレーザダイオードを動作させたときの特性である。a点（a'点）、b点（b'点）、c点（c'点）の順に周波数応答特性が劣化していることがわかる。

【0068】一般に、初期状態にあるレーザダイオードを駆動する場合、駆動条件の変動等によるモードジャンプの発生を防止するために、モードジャンプ点からある程度離れたb点で動作するように自動光出力制御を行

う。このため、自動光出力制御を行っている状態でレーザダイオードが経時劣化して、図13の実線で表されるI-L特性から破線で表されるI-L特性に変化すると、光出力強度が一定に保たれる結果、破線で表されるI-L特性におけるc'点で動作することとなり、図14(A)で説明した通り、周波数応答特性が劣化してしまう。

【0069】従来の光周波数偏移量の安定化技術による場合、光周波数偏移量が一定になるように、レーザダイオードの変調度、即ちバイアス電流に重畳する変調電流の振幅を制御していた。つまり、周波数応答特性が劣化していることを無視して、変調電流振幅を増大させ、これにより光周波数偏移量の減少又は周波数応答特性の劣化を補償しているのである。

【0070】本発明では、レーザダイオードの経時劣化前に図13の実線で表されるI-L特性におけるb点で動作していたものを、経時劣化後にも破線で表されるI-L特性におけるb'点で動作するように追従させるために、次の2点に着目する。

【0071】(1)レーザダイオードの経時劣化の前後においては、それぞれのI-L特性における対応する2点での光周波数偏移量はほぼ等しい。

(2)図14(B)に示すように、a点（a'点）、b点（b'点）、c点（c'点）の順に光周波数偏移量が減少する。

【0072】これらの事実を考慮すると、レーザダイオードの光周波数偏移量が一定になるようにレーザダイオードのバイアス又は温度を制御することによって、I-L特性の移動にかかわらず、I-L特性におけるほぼ同等の点でのレーザダイオードの動作が可能になるのである。尚、レーザダイオードのバイアス又は温度を制御するようにしているのは、これらのパラメータを変化させることにより光周波数偏移量が増変するからである。

【0073】その結果、レーザダイオードの経時劣化等にかかわらず、常に一定な光周波数偏移量と周波数応答特性とを得ることができる。図15は本発明の第1の構成の第2実施例を示すレーザダイオードの駆動装置のブロック図である。同図において、図4の第1実施例と同じ番号を付した部分は同じ機能を有する。

【0074】第2の実施例が第1の実施例と異なる点は、主として自動光出力制御（APC）の機能を有する点である。この機能を実現するために、第2の実施例における光干渉器701は、レーザダイオード401からの後方光 H_0 を受けることにより、相補的な2つの干渉光 H_{i1} 及び H_{i2} を出力する構成を有する。ここでは、図15の構成について説明する前に、光干渉器701の具体例について説明する。

【0075】図16は、相補的な2つの干渉光 H_{i1} 及び H_{i2} を出力するマッハツェンダ干渉器を示す図である。同図において、Mはハーフミラー、M'はミラーであ

10

20

30

40

50

り、2つの光路の光路長間に所定の差を持たせることによって、相補的な2つの干渉光 H_{i1} 及び H_{i2} を発生するようにしている。これらの相補的な2つの干渉光 H_{i1} 及び H_{i2} の各光周波数弁別特性は、図17の実線及び破線で示されるようになる。

【0076】図18は、相補的な2つの干渉光 H_{i1} 及び H_{i2} を出力するファブリ・ペロー干渉器を示す図である。同図において、一方の干渉光 H_{i1} は透過光であるのに対して、他方の干渉光 H_{i2} は反射光である。

【0077】ここで、ファブリ・ペロー干渉素子FPがレーザダイオード401（図15参照）からの後方光 H_0 の光軸に対して傾斜しているのは、反射光である干渉光 H_{i2} がレーザダイオード401に戻らないようにするためと、後方光 H_0 を遮らずに干渉光 H_{i2} を取り出すためである。これらの相補的な2つの干渉光 H_{i1} 及び H_{i2} の各光周波数弁別特性は、図19の実線及び破線で示されるようになる。

【0078】図20は相補的な2つの干渉光 H_{i1} 及び H_{i2} を得る他の光干渉器を示す図である。同図においては、複屈折結晶CRの入力側に第1の偏光子 PL_1 が設けられ、出力側に第2の偏光子 PL_0 が設けられる。このような構成により、レーザダイオード401からの後方光 H_0 から2つの相補的な干渉光 H_{i1} 及び H_{i2} が得られる。

【0079】上述のような光干渉器701を有する図15の第2の実施例について以下に説明する。同図において、レーザダイオード401、LD駆動回路402、低周波発振器405、同期検波回路406及び比較器407は、図4の実施例と同じ機能を有する。符号702～707よりなる部分は、図4の受光器404に対応する。

【0080】まず、フォトダイオード等からなる2つの受光器702及び703から電気信号 EL_1 及び EL_2 が出力される。そして、これら2つの信号に対応する2つの電圧値が、電圧検出用抵抗704及び705並びに演算増幅器706及び707を介して検出され、これら2つの電圧値は加算器708で加算された後、その加算結果が自動光出力制御回路（APC回路）709に入力される。

【0081】APC回路709は、レーザダイオード401における自動光出力制御を行う。以下にこの動作原理について説明する。いま、光干渉器701から出力される2つの干渉光 H_{i1} 及び H_{i2} は互いに相補的な干渉光であるため、これらが加算されると、その加算出力は、図17の一点鎖線で示されるように、平坦な信号となる。即ち、受光器702及び703からの電気信号 EL_1 及び EL_2 に対応する各電圧値を加算器708で加算して得られる信号は、直流に近い信号となる。

【0082】この事実に基づいて、APC回路709が加算器708からの加算出力のレベルが常に一定レベル

になるように、LD駆動回路402に負帰還をかけることにより、自動光出力制御が実現される。この制御信号は、バイアス回路（図6参照）へのAPC入力端子613に入力される。

【0083】APC回路709は、予め定められた設定電圧 V_2 に対する加算器708からの加算出力の変動成分を検出し、その極性を反転した信号をAPC入力端子613に供給する。これにより、レーザダイオード401のサイド電極505及び507（図6参照）への I_S バイアス電流が制御され、レーザダイオード401の出力が一定のレベルに保たれる。

【0084】尚、 I_S バイアス電流によりAPCを行っているのは、単位 I_S 電流の変化に対する光周波数偏移量の方が単位 I_C 電流の変化に対する光周波数偏移量よりも小さく、他の制御に対して都合がよいからである。

【0085】動作点を制御するための同期検波回路406は、図4の第1の実施例の場合と同様に動作するが、この同期検波回路406への入力としては、演算増幅器706の出力が用いられる。尚、演算増幅器707の出力が用いられてもよい。

【0086】レーザダイオード401における光周波数偏移量を一定値に安定化させるための比較器407についても、図4の第1の実施例の場合と同様に動作する。ただし、第2の実施例においては、比較器407への入力として、電気信号 EL_1 と EL_2 の差信号の直流成分が用いられる。この差信号は、受光器702と703の接続部分から取り出すことができる。このような差信号を用いる理由は以下の通りである。

【0087】第1の実施例で説明したように、比較器407は、例えば図11に示されるような光強度の平均値と光周波数偏移量の関係に基づいて、受光器からの電気信号の直流成分電圧と予め定められた設定電圧との誤差成分を演算し、この誤差成分によりLD駆動回路へ負帰還をかけている。

【0088】ここで、電気信号 EL_1 と EL_2 の差信号から得られる光強度の平均値と光周波数偏移量の関係は、図11において、干渉光 H_{i1} に対応する実線の特性に干渉光 H_{i2} に対応する破線の特性を極性反転した特性を加えて得られる一点鎖線で示されるような変化率の大きな特性で表現される。

【0089】そこで、このような傾斜の鋭い特性を有する信号に基づいて負帰還をかけることによって、光周波数偏移量の制御における S/N を著しく増大させることが可能になるのである。

【0090】ここで、例えば図11で、干渉光 H_{i1} に対応する実線の特性と干渉光 H_{i2} に対応する破線の特性の交点Xにおける光周波数偏移量が、レーザダイオード401における所望の光周波数偏移量となるように、回路を適当に調整することにより、電気信号 EL_1 と EL_2 の差信号が0になったときに、所望の光周波数偏移量が

得られる。

【0091】このように回路調整が行われる場合には、比較器407に入力される設定電圧 V_1 は0とされ、比較器407は電気信号 EL_1 と EL_2 の差信号が常に0となるようにLD駆動回路402に負帰還をかければよい。

【0092】ここで、例えば図11の交点Xにおける光周波数偏移量がレーザダイオード401における所望の光周波数偏移量となるように回路を調整することは容易に実現できる。例えば、光干渉器701におけるフリースペクトラルレンジ又はフィネスを変更し、又は受光器702及び703の間の相対的な増幅率や、光結合効率もしくは量子効率を変更すればよい。

【0093】図21は、本発明の第1の構成の第3実施例を示すレーザダイオードの駆動装置のブロック図である。第3の実施例の基本的な構成は、図15の第2の実施例と同様である。第3の実施例が第2の実施例と異なる点は、比較器407に入力される差信号が、受光器702と703の接続部分から取り出されるのではなく、演算増幅器706の出力電圧から演算増幅器707の出力電圧を減算器801で減算して得た出力として取り出されるようにした点である。

【0094】このような構成により、第2の実施例で前述したように、例えば図11の交点Xにおける光周波数偏移量がレーザダイオード401における所望の光周波数偏移量となるように回路を調整するためには、演算増幅器706及び707の相対的な増幅率を変更すればよいことになる。

【0095】図22は本発明の第1の構成の第4実施例を示すレーザダイオードの駆動装置のブロック図である。同図において、図4の第1の実施例と同じ番号を付した部分は同じ機能を有する。

【0096】第4の実施例が第1の実施例と異なる点は、アンプ901及び設定電圧制御部902を有する点と、LD駆動回路402のマーク率検出力端子612が用いられている点である。

【0097】アンプ901は、同期検波のために低周波発振器405からLD駆動回路402のバイアス制御入力端子609に入力される低周波発振出力の増幅率を、制御線 L_3 を介して検出される比較器407の出力値に基づいて制御する。

【0098】いま、図22のレーザダイオード401において、経年変化等により変調効率（バイアス電流の単位電流あたりの光周波数可変量）が小さくなると、最悪の場合、低周波発振器405からの発振出力によりレーザダイオード401のバイアス電流が変化したとしても、レーザダイオード401における光周波数が期待される低周波の変化（図9参照）を生じなくなってしまう可能性がある。

【0099】このような場合、同期検波回路406にお

いて、第1の実施例の説明において前述したように同期検波動作及びLD駆動回路402への負帰還動作を行うことができなくなり、動作点の制御が不可能となってしまう。

【0100】これを解決するために、本実施例では、次のような制御が行われる。まず、レーザダイオード401における光周波数偏移量が所定値よりも小さくなれば比較器407から出力される誤差成分は大きくなり、光周波数偏移量が所定値よりも大きくなれば上記誤差成分は小さくなる。

【0101】そこで、比較器407の出力が制御線 L_3 を介してアンプ901の増幅率に負帰還されることにより、レーザダイオード401における変調効率が小さくなった場合には低周波発振器405からの同期検波のための低周波出力の振幅が大きくなり、逆に、変調効率が大きくなり過ぎた場合には低周波出力の振幅が小さくなるような制御が実現されるのである。

【0102】マーク率モニタ回路611（図6参照）は、例えば、変調回路606内に設けられた積分器によって構成され、変調回路606に輸入される送信データ D_{in} の論理値「1」と「0」の発生比率即ちマーク率を演算し、比較器407における設定電圧 V_1 又は同期検波回路406に負帰還をかける。

【0103】いま、マーク率が例えば $1/2$ の場合、即ち「1」と「0」が1:1の割合で発生する場合と、マーク率が例えば $1/4$ の場合即ち「1」と「0」が1:3の割合で発生する場合とでは、例えば前述した図10における光周波数弁別特性における光強度が変化する。

【0104】そのため、図11における光周波数偏移量に対する光強度の平均値が変化し、光周波数偏移量の設定値 Δf に対応する光強度の平均値 P_{av} も変化する。従って、比較器407からLD駆動回路に安定した負帰還をかけるためには、上述の光強度の平均値 P_{av} に対応する比較器407における設定電圧 V_1 を、マーク率の変動に応じて変化させる必要がある。

【0105】そこで、本実施例では、設定電圧制御部902が、マーク率検出力端子612から制御線 L_4 を介して通知されるマーク率の検出値に応じて、比較器407に供給される設定電圧 V_1 の値を変更する。これにより、マーク率の変動を受けない光周波数偏移量の安定化動作が実現される。

【0106】尚、マーク率検出力端子612からのマーク率検出力に基づいて、同期検波回路406からLD駆動回路402へ供給される負帰還信号にオフセット電圧を加え、レーザダイオードの動作点を、光周波数弁別特性の極大値又は極小値を与える光周波数から故意にずらすような制御を行っても、上述の場合と同様の機能を実現できる。

【0107】図23は本発明の第1の構成の第5実施例を示すレーザダイオードの駆動装置のブロック図であ

る。第1乃至第4の実施例においては、光干渉器の光周波数弁別特性における極大点を与える光周波数又は極小点を与える光周波数に動作点を安定化していたが、本実施例においては、この点が大きく異なる。

【0108】即ち、本実施例における装置の動作原理は、(1) 光干渉器における動作点を、光干渉器の光周波数弁別特性における極大点を与える光周波数とこの極大点に隣接する極小点を与える光周波数の中点に対応する光周波数(以下「平均光周波数」という。)に安定化させること、(2) その安定化された動作点のもとで、
10 受光器からの電気信号における変調信号の周波数に相当する周波数成分の振幅の平均値又は実効値を検出すること、そして、所定の光周波数変調を生じさせるときの設定値に向かって上記平均値又は実効値を集束させるようにレーザダイオードのバイアス又は温度に帰還をかけること、の2点に大別される。

【0109】本実施例においては、動作点が平均光周波数に一致している場合に、受光器からの電気信号における変調信号の周波数に相当する周波数成分の振幅の平均値又は実効値と光周波数偏移量が所定の関数関係にある
20 ことを利用している。具体的には次の通りである。

【0110】光干渉器701からの2つの干渉光 H_{i1} 及び H_{i2} は、直列接続されたフォトダイオード等からなる第1及び第2の受光器702及び703にそれぞれ入射する。第1及び第2の受光器702及び703にそれぞれ生じる光電流 I_1 及び I_2 は、電圧検出用の抵抗704及び705並びに演算増幅器706及び707により電圧値としてそれぞれ検出される。これら2つの電圧値は、加算器708で加算された後、その加算結果がAPC回路709に入力する。

【0111】この実施例では、光電流 I_1 及び I_2 の差成分を動作点の検出と光周波数偏移量の安定化に供するために、第1の受光器702と第2の受光器703の接続点の電位変化を光周波数偏移量安定化回路1003及び動作点検出回路1001に取り込んでいる。符号1002は検出された動作点に基づいてレーザダイオード401の発振周波数又は光干渉器701の干渉特性を制御する動作点制御回路である。

【0112】動作点制御回路1002からの制御信号は、LD駆動回路402の温度制御入力端子602に入力し、光周波数偏移量安定化回路1003からの制御信号はバイアス制御入力端子609に入力する。この制御線の接続関係を逆にしてもよい。また、動作点制御回路1002からの制御信号を光干渉器701に帰還してもよい。

【0113】光周波数偏移量安定化回路1003は図4の第1の実施例における比較器407或いは図22の第4の実施例における比較器407及び設定電圧制御部902により構成することができる。

【0114】図24は2つの相補的な干渉光の光周波数

弁別特性における動作点設定の原理を説明するための図である。図24(A)に示すように、レーザダイオード401の中心光周波数 f_0 が平均光周波数に一致している場合には、変調信号 I_p に基づいて第1の受光器702に生じる光電流 I_1 の平均値(DCレベル)は、第2の受光器703に生じる光電流 I_2 の平均値(DCレベル)に一致する。

【0115】一方、図24(B)に示すように、動作点が光周波数の低周波数側にドリフトして、レーザダイオード401の中心光周波数 f_0 が平均光周波数よりも低くなった場合には、一方の干渉光 H_{i1} の光周波数弁別特性に基づいて第1の受光器702に生じる光電流 I_1 のDCレベルは、他方の干渉光 H_{i2} に基づいて第2の受光器703に生じる光電流 I_2 のDCレベルよりも低くなる。

【0116】他方、図24(C)に示すように、動作点が光周波数の高周波数側にドリフトして、レーザダイオード401の中心光周波数 f_0 が平均光周波数よりも高くなった場合には、図24(B)の場合とは逆に、第1の受光器702に生じる光電流 I_1 のDCレベルは、第2の受光器703に生じる光電流 I_2 のDCレベルよりも高くなる。

【0117】従って、光電流 I_1 のDCレベルと光電流 I_2 のDCレベルの差或いは光電流 I_1 及び I_2 の差信号のDCレベルが0に集束するような帰還制御を行うことによって、光干渉器701における動作点を平均光周波数に設定することができる。

【0118】このような動作点の安定化が実現されると、レーザダイオード401の中心光周波数 f_0 は、相補的な2つの干渉光に対する光周波数弁別特性の交点P(図7参照)を与える光周波数に一致する。
30

【0119】レーザダイオード401の中心光周波数 f_0 が周波数弁別特性の交点Pを与える光周波数に一致していると、光周波数弁別特性の微分係数は常に一定値に維持されるから、光電流 I_1 又は I_2 における変調周波数に相当する周波数成分の振幅の平均値又は実効値と光周波数偏移量は一定の関数関係を有するようになるのである。

【0120】このような動作原理に基づいて、光周波数偏移量安定化回路1003は、上述の平均値又は実効値と所定値の間の誤差値を演算し、この誤差値をLD駆動回路402に帰還させる。これにより、レーザダイオード401の経時変化等にかかわらずレーザダイオード401における光周波数偏移量を安定化することができる。

【0121】尚、APC回路709の動作については、図15の第2の実施例におけるのと同様であるからその説明を省略する。本実施例においてマーク率補正を行う場合には、LD駆動回路402のマーク率検出力端子612からの信号を動作点制御回路1002及び/又は

光周波数偏移量安定化回路1003に入力させる。

【0122】図25は本発明の第1の構成の第6実施例を示すレーザダイオードの駆動装置のブロック図である。本実施例は、光周波数分割多重(FDM)伝送システム、即ち、一本の光ファイバ上で複数の中心光周波数を同時に使用して複数回線分の情報を多重化して送るような光通信システムに適応される。

【0123】図25のレーザダイオード2001、LD駆動回路2002、光干渉器2004、受光器2005は、例えば、各々図4の第1の実施例における401、402、403及び404の各部に対応する。また、図25の動作点安定化部2006は図4の低周波発振器405及び同期検波回路407に対応し、図25の光周波数偏移量安定化部2007は図4の比較器407に対応している。

【0124】図25の第6の実施例が図4の第1の実施例と異なるのは、FDM伝送システムでは複数の中心光周波数が必要とされることに伴って、レーザダイオード2001、LD駆動回路2002、受光器2005、動作点安定化部2006及び光周波数偏移量安定化部2007の各々が、#1～#nの複数個で構成される点である。

【0125】このような構成により、#1～#nの複数回線分の送信データ D_{in} の多重伝送が実現される。尚、光干渉器2004は、本実施例の場合は、ファブリ・ペロー干渉器によって構成される。そして、#1～#nの各レーザダイオード2001からの#1～#nの各後方光 H_0 は、n本の光ファイバによって空間分割されて、1台のファブリ・ペロー干渉器2004に導かれ、同干渉器からの#1～#nの各干渉光 H_i は、n本の光ファイバによって空間分割されて、n台の受光器2005に導かれる。

【0126】図25の#1～#nのn組の部分の各々におけるレーザダイオード2001における動作点及び光周波数偏移量の安定化動作は、図4の第1の実施例の場合と基本的には同じである。

【0127】ただし、本実施例では、特に、各動作点安定化部2006の出力は、LD駆動回路2002に帰還されることにより、各レーザダイオード2001における各レーザ光の各動作点(中心光周波数)が、1台の光干渉器2004における1つの光周波数弁別特性上のn点の極大値MAX(図7参照)の各々に定位される。

【0128】ここで、1つの光周波数弁別特性上における隣接する極大値間の光周波数間隔は正確に一定値となる。従って、上述のように、各レーザダイオード2001における各レーザ光の各自動周波数制御(AFC)が同時に実現される結果、FDM伝送システムにおける#1～#nの各レーザダイオード2001におけるn点の動作点を、光周波数軸上で正確に等間隔に配置することが可能となる。

【0129】そして、各レーザダイオード2001における各レーザ光毎に、上述のような自動周波数制御(AFC)のもとで、光周波数偏移量を各々所定値に安定化させることができる。

【0130】また、光周波数弁別特性の極大値又は極小値の1つのピーク値に対し、複数のレーザ光の動作点を対応させることにより共通の光周波数で異なる伝送路に対し伝送を行うものにも対応できる。

【0131】図26は、本発明の第1の構成の第7実施例を示すレーザダイオードの駆動装置のブロック図である。同図で、図25の第6の実施例と同じ番号を付した部分は同じ機能を有する。

【0132】第7の実施例が第6の実施例と異なる点は、動作点安定化部と光周波数偏移量安定化部は、各々2101と2102の1つずつのみが設けられ、各々が時分割動作する点である。

【0133】そして、#1～#nの各受光器2005からの出力は、各出力に割り当てられた時分割タイミングで、スイッチ2103及び2104を介して動作点安定化部2101及び光周波数偏移量安定化部2102に入力される。そして、各制御結果はスイッチ2105及び2106を介してデータ保持部2107及び2108に保持される。各データ保持部2107及び2108は、各々、各制御時点において最新の#1～#nの各制御データを、各LD駆動回路2002に同時に負帰還する。上述のような構成により、回路規模を縮小することが可能となる。

【0134】尚、本実施例では、動作点安定化部2101から出力される同期検波用の変調出力(図4の第1の実施例の低周波発振器405の発振出力に対応)は、光干渉器2004の温度制御端子に重畳される。これにより、各半導体レーザ2001の各レーザ光の光周波数を低周波で変調する必要がなくなるため、低周波変調成分が各レーザ光の本来の通信信号に対応する変調成分に影響を与えることがなくなる。

【0135】図27は、本発明の第2の構成の実施例を示すレーザダイオードの駆動装置のブロック図である。本実施例の特徴は、レーザダイオードにおける光周波数偏移量を安定化させるための前段階として行われるレーザダイオードの動作点の安定化制御が、例えば図4の実施例で説明したような低周波発振器による低周波変調動作と同期検波回路による同期検波動作によって行われるのではなく、光干渉器からの反射光を利用した制御動作によって行われることである。

【0136】図27において、まず、レーザダイオード2201、LD駆動回路2202及び比較器2213等の機能は、図4の401、402及び407等の機能と同じである。

【0137】レーザダイオード2201からの直線偏光された後方光である入射光 H_0 は、ハーフミラー220

4に入力される。ハーフミラー2204を透過したレーザ光は、内部に偏光子2218が挿入され、左と右の各面がミラーコート2216と2217を施されたファブリ・ペロー干渉器2205に入力される。この偏光子2218は、その主軸（共振するレーザ光の偏光方向に一致する）の角度が、図28のAのように、入射光 H_0 の偏光方向に対して θ_1 ($0 < \theta_1 < 90^\circ$)の角度となるように配置される。

【0138】ファブリ・ペロー干渉器2205からハーフミラー2204の方向へ反射される反射光B1は、ハーフミラー2204で反射された後、図28のCのように、主軸の角度を互いに $\pi/4$ 傾けて配置された $\lambda/4$ 板2206と偏光子2207を透過する。

【0139】そして、偏光子2207からの2つの方向X3とY3の各レーザ光は、受光器2208及び2209で各々受光される。減算器2210は、受光器2208の出力信号から受光器2209の出力信号を減算する。

【0140】負帰還部2211は、減算器2210からの減算信号E3に基づいてLD駆動回路2202の温度制御入力端子に負帰還をかける。これにより、レーザダイオード2201における動作点をファブリ・ペロー干渉器2205における光周波数弁別特性の極大値に対応する光周波数に常に一致させるという制御動作が実現される。

【0141】一方、ファブリ・ペロー干渉器2205を透過した干渉光は、受光器2212で受光され、受光器2212の出力信号E4のうちの直流成分は比較器2213に入力される。

【0142】比較器2213は、図4の実施例の比較器407の場合と同様にして、受光器2212からの直流成分電圧と予め定められた設定電圧 V_1 との誤差成分を演算する。そして、この誤差成分によりLD駆動回路2

202のバイアス制御入力端子へ負帰還がかけられることにより、レーザダイオード2201におけるレーザ光の光周波数偏移量が安定化される。

【0143】また、レーザダイオード2201からの出射光 H_0 のうちハーフミラー2204を透過せずにそこで反射されたレーザ光は、受光器2214で受光される。APC制御部2215は、受光器2214で受光されたモニタ光に基づいて、LD駆動回路2202に負帰還をかけることにより、レーザダイオード2201におけるレーザ光の出力を一定レベルに保つ自動光出力制御が実現される。

【0144】以上の構成を有する実施例では、前述したように、レーザダイオード2201の動作点の安定化制御がファブリ・ペロー干渉器2205からの反射光B1を利用した制御動作によって実現されることを特徴とする。以下、この動作点の安定化制御について順次説明する。

【0145】まず、ファブリ・ペロー干渉器2205内の偏光子2218は、その主軸の角度が、図28のAのように、入射光 H_0 の偏光方向に対して θ_1 ($0 < \theta_1 < 90^\circ$)の角度となるように配置される。そのため、同干渉器内では、入射光 H_0 に対して角度が θ_1 だけ傾いたY1方向の成分のみが共振する。Y1に対して垂直のX1方向の成分は、干渉器の外へ出てしまい、0となる。一方、ミラーコート2216の部分では、内部の偏光子2218にかかわらず、入射光 H_0 は反射する。

【0146】以上の関係を考慮すると、ファブリ・ペロー干渉器2205からハーフミラー2204の方向へ反射される反射光B1 (X1成分とY1成分)は、下式で表現される。

【0147】

【数1】

$$X1 = R^{1/2} \cdot \{A' \cdot \exp(i\omega t)\} \cdot \sin(\theta 1)$$

$$Y1 = \frac{\{1 - \exp(i\delta)\} \cdot R^{1/2}}{1 - R \cdot \exp(i\delta)} \cdot \{A' \cdot \exp(i\omega t)\} \cdot \cos(\theta 1)$$

$$\delta = \frac{4\pi n L}{\lambda}$$

ただし、

$A' \cdot \exp(i\omega t)$: $A \cdot \exp(i\omega t)$ を入射光 H_0 としたときの、
ハーフミラー2204の透過光

R : ハーフミラー2204における反射率

n : 偏光子2218の屈折率

L : ファブリ・ペロー干渉器2205の共振器長

λ : 入射光 H_0 の波長

【0148】次に、反射光 $B1$ の偏光方向と $\lambda/4$ 板2206の主軸との角度を図28のBのように $\theta 2$ とする
と、 $\lambda/4$ 板2206からの出力光 $B2$ ($X2$ 成分と Y

2成分)は、下式で表現される。

【0149】

【数2】

$$X2 = X1' \cdot \cos(\theta 2) + Y1' \cdot \sin(\theta 2)$$

$$Y2 = -X1 \cdot \sin(\theta 2) + Y1 \cdot \cos(\theta 2)$$

ただし、

$X1'$ 、 $Y1'$: 数1式の $X1$ 、 $Y1$ における $\exp(i\omega t)$ の項を
 $\exp\{i(\omega t + \pi/2)\}$ で置き換えて表される信号

【0150】さらに、 $\lambda/4$ 板2206と偏光子2207の各主軸のなす角度は図23のCのように $\pi/4$ であるため、偏光子2207から受光器2208及び2209への各出力光 $B3$ ($X3$ 成分と $Y3$ 成分)は、下式で表現される。

【0151】

【数3】

$$X3 = X2 \cdot \cos(\pi/4) - Y2 \cdot \cos(\pi/4)$$

$$Y3 = X2 \cdot \sin(\pi/4) + Y2 \cdot \sin(\pi/4)$$

【0152】これより、受光器2208の出力 $E1$ と受光器2209の出力 $E2$ は、

【0153】

【数4】

$$E1 = (X3)(X3^*)$$

$$E2 = (Y3)(Y3^*)$$

【0154】で表され、さらに、減算器2210の出力 $E3$ は、

【0155】

【数5】

$$E3 = (X3)(X3^*) - (Y3)(Y3^*)$$

【0156】で表される。一方、ファブリ・ペロー干渉器2205から受光器2212の方向へは、同干渉器内で共振し、図28のAで示される $Y1$ 成分のみを有する干渉光が出力されるため、受光器2212の出力 $E4$ は、下式で表現される。

【0157】

【数6】

$$Y1 = \frac{1 - R}{1 - R \cdot \exp(i\delta)} \cdot \exp(i\omega t) \cdot \cos(\theta 1)$$

【0158】以上の数1式～数6式より、数5式で示される減算器2210の出力E3は、 $\theta 1 = \pi/4$ で最大となり、 $\theta 1 = 0, \pi/2$ で0となる。一方、数6式で示される受光器2212の出力E4は、 $\theta 1 = 0$ で最大となり、 $\theta 1 = \pi/2$ で0となる。また、上記E3とE4の両者とも、 $\theta 2$ には依存しない。そして、図28のCのように、主軸の角度を互いに $\pi/4$ 傾けて配置された $\lambda/4$ 板2206と偏光子2207を用いることにより、数1式で示されるファブリ・ペロー干渉器2205からハーフミラー2204の方向へ反射される反射光B1のX1成分とY1成分の位相差の情報を、数5式で示される減算器2210の出力E3として取り出すことができる。即ち、X1成分とY1成分の位相差を ϕ とすれば、

【0159】

【数7】

$$E3 = B \cdot \sin \phi \quad \text{ただし、} B \text{は定数}$$

【0160】となる。この位相差 ϕ は、数6式で示される受光器2212の出力E4における極大点では0、極小点では π となるため、出力E4における極大点又は極小点は出力E3における0点に対応することになる。

【0161】上述の特性を、具体的に示すと次のようになる。いま、数1式における屈折率を $n = 1.5$ 、ファブリ・ペロー干渉器2205のフリースペクトラルレンジ（光周波数弁別特性における極大点間の光周波数間隔に相当する）を $c/2nL = 15 \text{ GHz}$ （ c は光速）、ハーフミラー2204における反射率を $R = 0.9$ （90%）、 $\theta 1 = \pi/8$ として、数5式で示される減算器2210の出力E3と数6式で示される受光器2212の出力E4を各光周波数について計算すると、図29のA及びBで示されるごとく光周波数特性が得られる。

【0162】ここで、図29のBで示される受光器2212の出力E4の光周波数特性は、図27のファブリ・ペロー干渉器2205の光周波数弁別特性にほかならない。従って、図29のAとBからわかるように、ファブリ・ペロー干渉器2205の光周波数弁別特性の極大点は減算器2210の出力E3の光周波数特性の0点に対応することになる。

【0163】以上の事実に基づいて、負帰還部2211が減算器2210の出力E3に基づいてレーザダイオード2201の温度に負帰還をかけることにより、レーザダイオード2201における動作点をファブリ・ペロー干渉器2205における光周波数弁別特性の極大値に対

応する光周波数に常に一致させるという制御動作が実現されることになる。

【0164】この場合に、図29のAの光周波数特性からわかるように、負帰還部2211は、減算器2210の出力E3が正極性の場合には、レーザダイオード2201におけるレーザ光の中心光周波数を下げるように負帰還をかけ、逆に、E3が負極性の場合には、中心光周波数を上げるように負帰還をかける。

【0165】図30は、本発明の第3の構成の実施例を示すレーザダイオードの駆動装置のブロック図である。同図で、図27の実施例と同じ番号を付した部分は同じ機能を有する。

【0166】この実施例では、図27の実施例の場合と同様に、レーザダイオード2201の動作点の安定化制御が、ファブリ・ペロー干渉器2501からの反射光B1を利用した制御動作によって行われる。この実施例が図27の実施例と異なる点は、ファブリ・ペロー干渉器2501の内部に偏光子ではなく $\lambda/4$ 板2505が設けられ、ファブリ・ペロー干渉器2501と受光器2212の間に偏光子2502が配置される点である。

【0167】上述の $\lambda/4$ 板2505は、その主軸の角度が、図31のAのように、入射光 H_0 の偏光方向に対して $\pi/4$ の角度となるように配置される。従って、干渉器内をレーザ光が往復する毎に、反射光の偏光方向が、入射光 H_0 の偏光方向に対して、垂直方向、平行方向、垂直方向、…というように交互に変化する。

【0168】また、偏光子2502は、その主軸が $\lambda/4$ 板2505の主軸に対して図31のDのようにZ2の角度をなすように配置される。上述の構成の本実施例におけるレーザダイオード2201の動作点の安定化制御について、図27の実施例の場合と同様に順次説明する。

【0169】まず、ファブリ・ペロー干渉器2501内にその主軸の角度が入射光 H_0 の偏光方向に対して $\pi/4$ の角度となるように配置された $\lambda/4$ 板2505により、ファブリ・ペロー干渉器2501からハーフミラー2204の方向へ反射される反射光B1には、入射光 H_0 の偏光方向に対して、それと同一方向のX0成分と垂直方向のY0成分とが含まれる。

【0170】これより、反射光B1は、下式で表現される。

【0171】

【数8】

$$X_0 = \frac{R^{1/2} \cdot \{1 - R \cdot \exp(2i\delta)\}}{1 - R^2 \cdot \exp(2i\delta)} \cdot \{A' \cdot \exp(i\omega t)\}$$

$$Y_1 = - \frac{(1-R) \cdot R^{1/2} \cdot \exp(i\delta)}{1 - R^2 \cdot \exp(2i\delta)} \cdot \{A' \cdot \exp(i\omega t)\}$$

$$\delta = \frac{4\pi n L}{\lambda}$$

ただし、

$A' \cdot \exp(i\omega t)$: $A \cdot \exp(i\omega t)$ を入射光 H_0 としたときの、
ハーフミラー 2204 の透過光

R : ハーフミラー 2204 における反射率

n : $\lambda/4$ 板 2505 の屈折率

L : ファブリ・ペロー干渉器 2501 の共振器長

λ : 入射光 H_0 の波長

【0172】次に、反射光 B1 の偏光方向と $\lambda/4$ 板 206 の主軸との角度を図 31 の B のように Z_1 とする
と、 $\lambda/4$ 板 2206 からの出力光 B2 (X2 成分と Y2 成分) は、下式で表現される。

$$X_2 = X_0' \cdot \cos(Z_1) + Y_0' \cdot \sin(Z_1)$$

$$Y_2 = -X_0 \cdot \sin(Z_1) + Y_0 \cdot \cos(Z_1)$$

ただし、

X_0' , Y_0' : 数 8 式の X_0 , Y_0 における $\exp(i\omega t)$ の項を
 $\exp\{i(\omega t + \pi/2)\}$ で置き換えて表される信号

【0174】さらに、 $\lambda/4$ 板 2206 と偏光子 2207 の各主軸の角度は図 31 の C のように $\pi/4$ であるため、偏光子 2207 から受光器 2208 及び 2209 への各出力光 B3 (X3 成分と Y3 成分) は、図 27 の実施例の説明において前述した数 3 式と同じ式である下式で表現される。

【0175】

【数 10】

$$X_3 = X_2 \cdot \cos(\pi/4) - Y_2 \cdot \sin(\pi/4)$$

$$Y_3 = X_2 \cdot \sin(\pi/4) + Y_2 \cdot \cos(\pi/4)$$

【0176】これより、受光器 2208 の出力 E1、受光器 2209 の出力 E2 及び減算器 2210 の出力 E3 は、図 27 の実施例の説明において前述した数 4 式及び数 5 式と同じ式である下記の数 11 式及び数 12 式で表現される。

【0177】

【数 11】

$$E_1 = (X_3)(X_3^*)$$

$$E_2 = (Y_3)(Y_3^*)$$

【0178】

【数 12】

$$E_3 = (X_3)(X_3^*) - (Y_3)(Y_3^*)$$

【0179】一方、ファブリ・ペロー干渉器 2501 から偏光子 2502 の方向へは、同干渉器内で共振し、入射光 H_0 の偏光方向に対して右回りの偏光を有する下記の数 13 式で表現される干渉光 B5-1 と、左回りの偏光を有する下記の数 14 式で表現される干渉光 B5-2 とが出力される。

【0180】

【数 13】

33

34

$$X1 = \frac{1-R}{1-R^2 \cdot \exp(2i\delta)} \cdot [A' \cdot \exp\{i(\omega t + \pi/2)\}] \cdot \cos(\pi/4)$$

$$Y1 = \frac{1-R}{1-R^2 \cdot \exp(2i\delta)} \cdot \{A' \cdot \exp(i\omega t)\} \cdot \sin(\pi/4)$$

【0181】

【数14】

$$X1 = \frac{R \cdot (1-R) \cdot \exp(i\delta)}{1-R^2 \cdot \exp(2i\delta)} \cdot [A' \cdot \exp\{i(\omega t + 3\pi/2)\}] \cdot \cos(\pi/4)$$

$$Y1 = \frac{R \cdot (1-R) \cdot \exp(i\delta)}{1-R^2 \cdot \exp(2i\delta)} \cdot \{A' \cdot \exp(i\omega t)\} \cdot \sin(\pi/4)$$

【0182】従って、図30の偏光子2502に入射される干渉光は、数13式で表現される干渉光B5-1と数14式で表現される干渉光B5-2とを、X1成分及びY1成分毎に合成（加算）した光となる。この合成光の各成分を新たにX1成分及びY1成分とすれば、偏光子2502を透過した光B6（X4成分とY4成分）は、下式で表現される。

【0183】

【数15】

$$X4 = X1 \cdot \cos(Z2) + Y1 \cdot \sin(Z2)$$

$$Y4 = -X1 \cdot \sin(Z2) + Y1 \cdot \cos(Z2)$$

【0184】ここで、受光器2212が上述の偏光子2502からのX4成分とY4成分の2つの出力光B6のうち例えばY4成分を受光するとすれば、受光器2212の出力E4は、下式で表現される。

【0185】

【数16】

$$E4 = (Y4)(Y4^*)$$

【0186】以上の数8式～数16式より、数12式で示される図30の減算器2210の出力E3は、図31のAのようにλ/4板2505の主軸と入射光H0の偏光方向とがπ/4の角度をなしている状態で最大となっている。また、上記E3とE4の両者とも、Z1には依存しない。

【0187】そして、図31のCのように、主軸の角度を互いにπ/4傾けて配置されたλ/4板2206と偏光子2207を用いることにより、数8式で示されるファブリ・ペロー干渉器2501からハーフミラー2204の方向へ反射される反射光B1のX0成分とY0成分の位相差の情報を、数12式で示される減算器2210の出力E3として取り出すことができる。即ち、X0成

分とY0成分の位相差をφとすれば、数7式と同様に、

【0188】

【数17】

$$E3 = B \cdot \sin\phi \quad \text{ただし、} B \text{は定数}$$

【0189】となる。この位相差φは、前述した図27の実施例の場合と同様に、数16式で示される受光器2212の出力E4における極大点では0、極小点ではπとなるため、出力E4における極大点又は極小点は出力E3における0点に対応することになる。

【0190】いま、数8式における屈折率をn=1.

5、ファブリ・ペロー干渉器2501のフリースペクトラルレンジをc/2nL=15GHz（cは光速）、ハーフミラー2204における反射率をR=0.9（90%）、z2=0として、数12式で示される減算器2210の出力E3と数16式で示される受光器2212の出力E4を各光周波数について計算すると、図32のA及びBで示される如き光周波数特性が得られる。

【0191】これより、図27の実施例に関する図29の場合と同様、ファブリ・ペロー干渉器2501の光周波数弁別特性の極大点は、減算器2210の出力E3の光周波数特性の0点に対応する。従って、図27の実施例の場合と同様、負帰還部2211が減算器2210の出力E3に基づいてレーザダイオード2201の温度に負帰還をかけることにより、レーザダイオード2201における動作点の安定化制御が実現される。

【0192】この場合にも、図27の実施例と同様に、図32のAの光周波数特性からわかるように、負帰還部2211は、減算器2210の出力E3が正極性の場合には、レーザダイオード2201におけるレーザ光の中心光周波数を下げるように負帰還をかけ、逆に、E3が負極性の場合には、中心光周波数を上げるように負帰還をかける。

50

【0193】ここで、前述した図 27 の実施例では、図 29 の A からわかるように、負帰還部 2211 が出力 E3 に基づいて帰還をかける場合に、レーザダイオード 2201 における動作点が光周波数弁別特性における極大点から離れて隣り合う極大点の中間の光周波数に近付けば近づくほど、出力 E3 の値は 0 に近い値をとる。

【0194】このため、動作点が上記中間点に近付けば近づくほど、上記動作点が目標とする極大点に安定して収束させられにくくなり、隣りの極大点に収束させられてしまう危険性が大きくなる。

【0195】これに対して、この実施例では、図 32 の A からわかるように、上記中間点の直近の光周波数まで、出力 E3 の値は、上記中間周波数を境に互いに逆極性の比較的大きな値をとる。

【0196】従って、この実施例では、上記動作点が上記中間点にかなり近付いても、該動作点が目標とする極大点に安定して収束させられる。このように、この実施例の方が、図 27 の実施例よりも、レーザダイオード 2201 における動作点のロックインレンジを大きくとることができるという特長を有する。

【0197】以上の制御動作により、レーザダイオード 2201 における動作点をファブリ・ペロー干渉器 2501 における光周波数弁別特性の極大値に対応する光周波数に一致させるという制御動作が実現される。

【0198】最後に、図 33 は、本発明の第 2 の構成の他の実施例を示すレーザダイオードの駆動装置のブロック図である。本実施例は、図 27 の実施例の構成を、前述した図 4 の実施例の構成を図 25 の実施例の構成又は図 26 の実施例の構成に拡張したのと同様に、FDM 伝送システム用、又は同一光周波数で複数の伝送を行う場合に拡張した構成を有している。

【0199】図 33 において、レーザダイオード 2801 及び受光器 2806、2807、2808、2809 は図 27 の実施例における 2201、2208、2209、2212、2214 の各部分に対応する。

【0200】図 33 の実施例が図 27 の実施例と異なるのは、FDM 伝送システムでは複数の中心光周波数が必要とされることに伴って、レーザダイオード 2801 及び受光器 2806、2807、2808、2809 の各々が、#1～#n の複数個で構成される点である。このような構成により、#1～#n の複数回線分の送信データの多重伝送が実現される。

【0201】一方、ハーフミラー 2802、内部に偏光子 2812 が挿入され左と右の各面がミラーコート 2810、2811 を施されたファブリ・ペロー干渉器 2803、 $\lambda/4$ 板 2804 及び偏光子 2805 は、図 27 の実施例の場合と同様に 1 つずつ設けられる。そして、#1～#n のレーザダイオード 2801 からの各後方光は、n 本の光ファイバによって空間分割されて、各後方光毎に上述の 1 組の光学系によって図 27 の実施例の場

合と同様に光学的処理がなされる。

【0202】さらに、図 33 では省略されているが、図 26 の実施例における LD 駆動回路 2202、減算器 2210、負帰還部 2211、比較器 2213 及び APC 制御部 2215 と同様の部分が、図 33 のレーザダイオード 2801 及び受光器 2806～2809 の #1～#n の各々に対応して n 個ずつ設けられる。

【0203】以上の構成により、低周波発振器による低周波変調動作と同期検波回路による同期検波動作によらずに、各レーザダイオード 2801 における各レーザ光の各動作点（中心光周波数）を、1 台のファブリ・ペロー干渉器 2803 における 1 つの光周波数弁別特性上の n 点の極大値の各々に正確に等間隔で定位させるか 1 つの極大値に全てのレーザ光の動作点を一致させることができる。また、この技術を図 30 の実施例の干渉計の技術にも適用可能である。

【0204】そして、各レーザダイオード 2801 における各レーザ光毎に、上述のような自動周波数制御（AFC）のもとで、光周波数偏移量を各々所定値に安定化させることができる。

【0205】

【発明の効果】本発明の効果は実施例等の説明から明らかであるが、その主要な効果を確認的に明らかにすれば次の通りである。

【0206】即ち、本発明によると、レーザダイオードの周波数応答特性を劣化させることなくレーザダイオードの光周波数偏移量を安定化させることができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の構成を示すブロック図である。

【図 2】本発明の第 2 の構成を示す図である。

【図 3】本発明の第 3 の構成を示す図である。

【図 4】本発明の第 1 の構成の第 1 の実施例を示す図である。

【図 5】3 電極分布帰還型レーザダイオードの構成を示す模式図である。

【図 6】LD 駆動回路における接続図である。

【図 7】マッハツェンダ干渉器における光周波数弁別特性と同期検波信号の波形図である。

【図 8】ファブリ・ペロー干渉器における光周波数弁別特性と同期検波信号の波形図である。

【図 9】低周波発振器の動作を説明するための波形図である。

【図 10】光周波数偏移量の安定化動作の説明図である。

【図 11】光強度の平均値と光周波数偏移量との関係を示すグラフである。

【図 12】図 11 のグラフが得られることを実証する実験データを示す図である。

【図 13】図 5 のレーザダイオードの I-L 特性を示す

グラフである。

【図14】図13のI-L特性の各点におけるFM変調効率の周波数特性(A)及び光周波数偏移量(B)を示すグラフである。

【図15】本発明の第1の構成の第2の実施例を示す図である。

【図16】相補的な2つの干渉光を出力するマッハツェンダ干渉器を示す図である。

【図17】図16における2つの干渉光の光周波数弁別特性を示す図である。

【図18】相補的な2つの干渉光を出力するファブリ・ペロー干渉器を示す図である。

【図19】図18における2つの干渉光の光周波数弁別特性を示す図である。

【図20】相補的な2つの干渉光を得る他の光干渉器を示す図である。

【図21】本発明の第1の構成の第3の実施例を示す図である。

【図22】本発明の第1の構成の第4の実施例を示す図である。

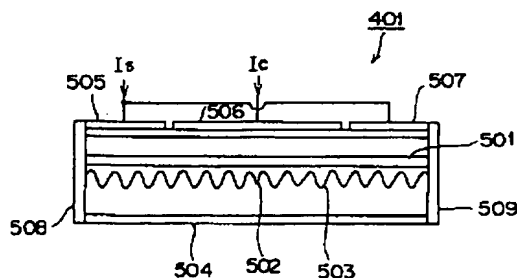
【図23】本発明の第1の構成の第5の実施例を示す図である。

【図24】図23の装置における動作点安定化の原理説明図である。

【図25】本発明の第1の構成の第6の実施例を示す図である。

【図5】

3電極DFB-LDの構成を示す模式図



【図26】本発明の第1の構成の第7の実施例を示す図である。

【図27】本発明の第2の構成の実施例を示す図である。

【図28】図27の実施例における軸関係を示す図である。

【図29】図27の実施例における特性図である。

【図30】本発明の第3の構成の実施例を示す図である。

【図31】図30の実施例における軸関係を示す図である。

【図32】図30の実施例における特性図である。

【図33】本発明の第2の構成の他の実施例を示す図である。

【符号の説明】

101, 201, 401, 2001, 2201, 280

1 レーザダイオード

102, 203, 302 光干渉手段

103, 206, 207, 209 受光手段

20 104 動作点安定化手段

105, 210 光周波数偏移量検出手段

106, 211 LD制御手段

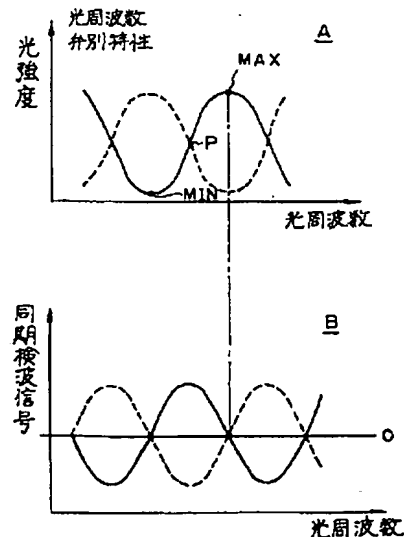
202, 205 偏光子

204, 301 1/4波長板

208 帰還手段

【図7】

マッハツェンダ干渉器における光周波数弁別特性と同期検波信号の波形図

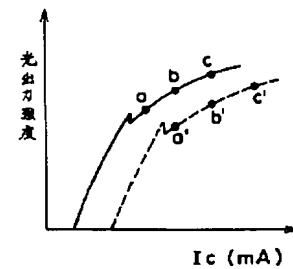
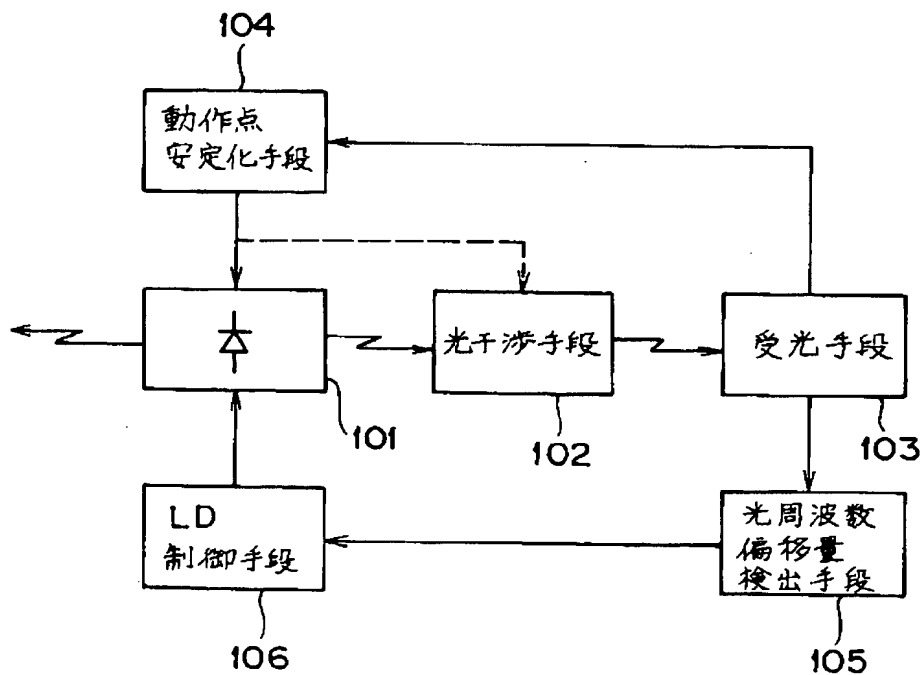


【図 1】

【図 1-3】

本発明の第 1 の構成を示すブロック図

図 5 の LD の I-L 特性を示すグラフ

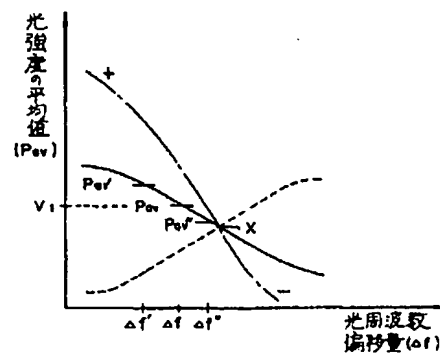
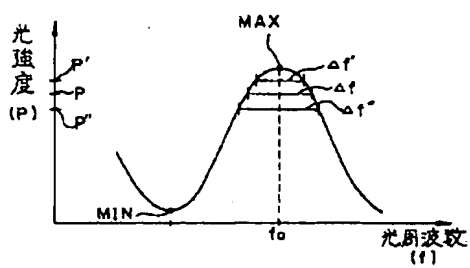


【図 10】

【図 11】

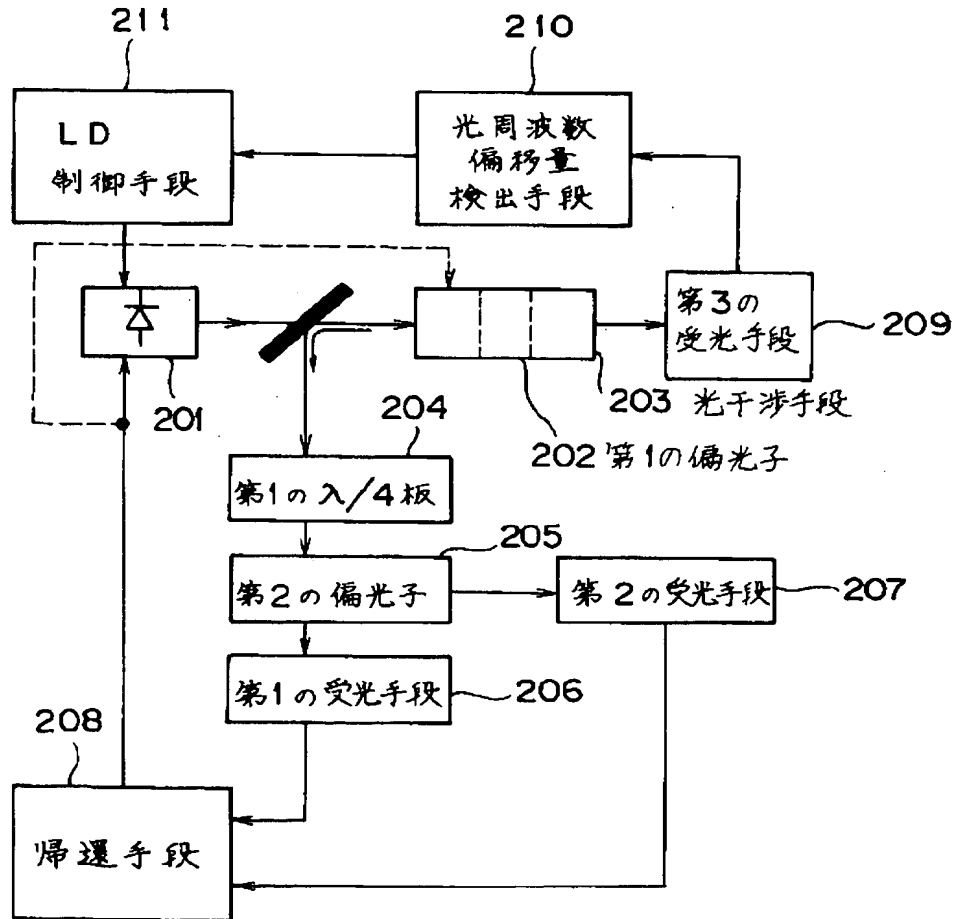
光周波数偏移量の安定化動作の説明図

光強度の平均値と光周波数偏移量との関係を示すグラフ



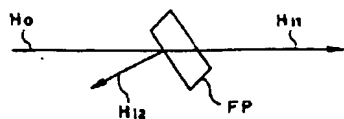
【図2】

本発明の第2の構成を示す図



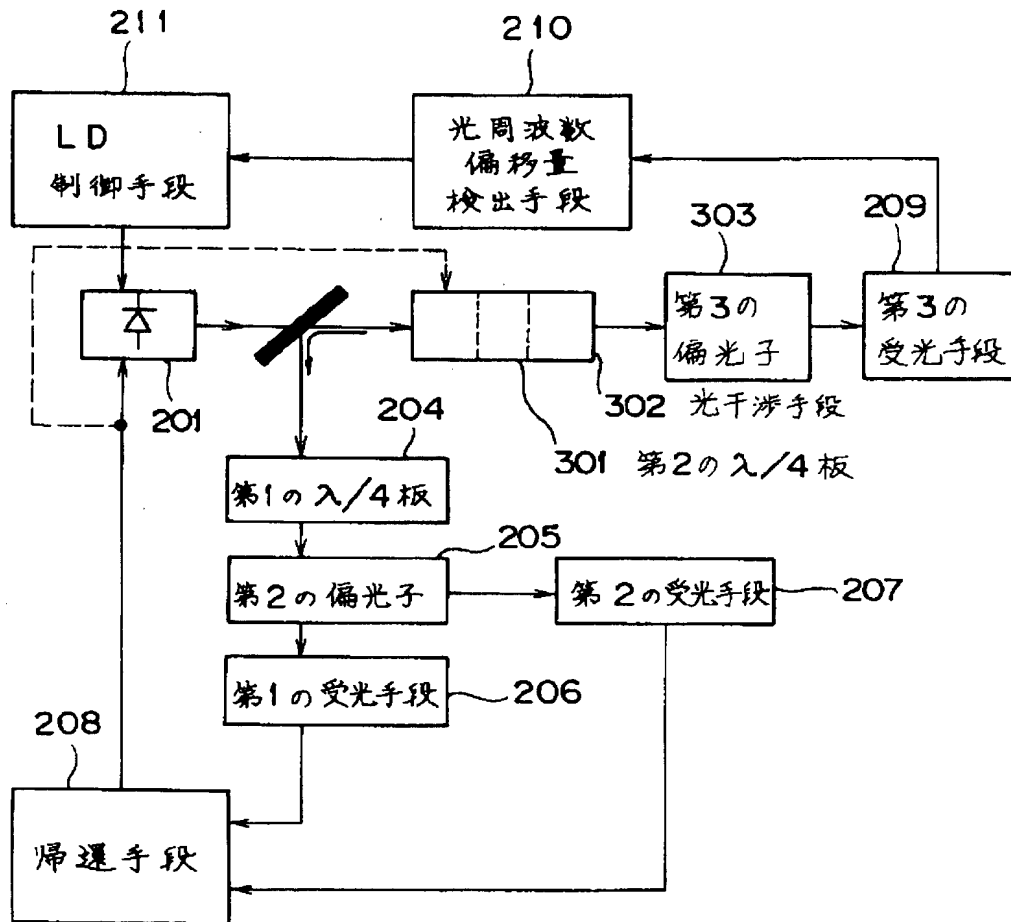
【図18】

相補的な2つの干渉光を出力するファブリ・ペロー干渉器を示す図



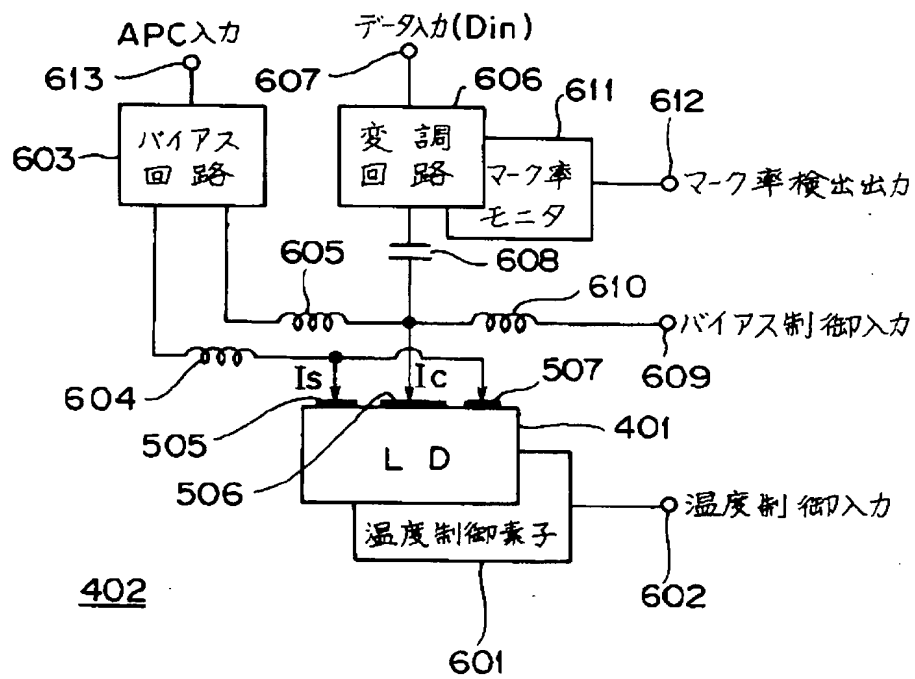
【図 3】

本発明の第3の構成を示す図



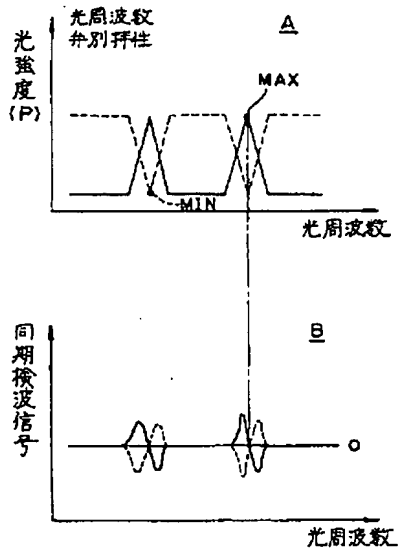
【図6】

LD駆動回路における接続図



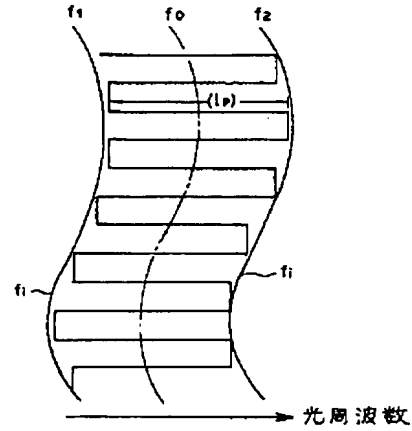
【図8】

ファブリ・ペロー干渉器における光周波数弁別特性と同期検波信号の波形図



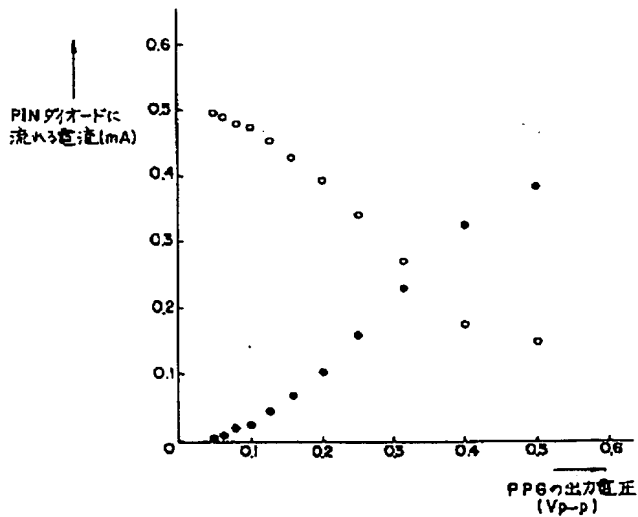
【図9】

低周波発振器の動作を説明するための波形図



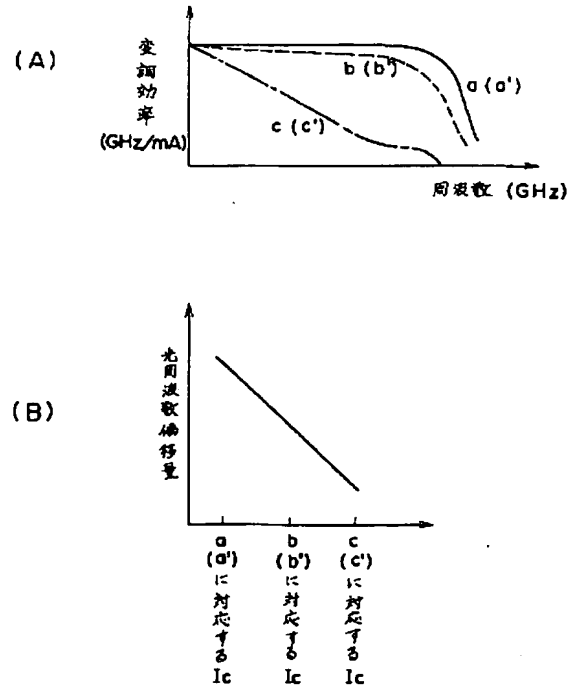
【図12】

図11のグラフが得られることを実証する実験データを示す図



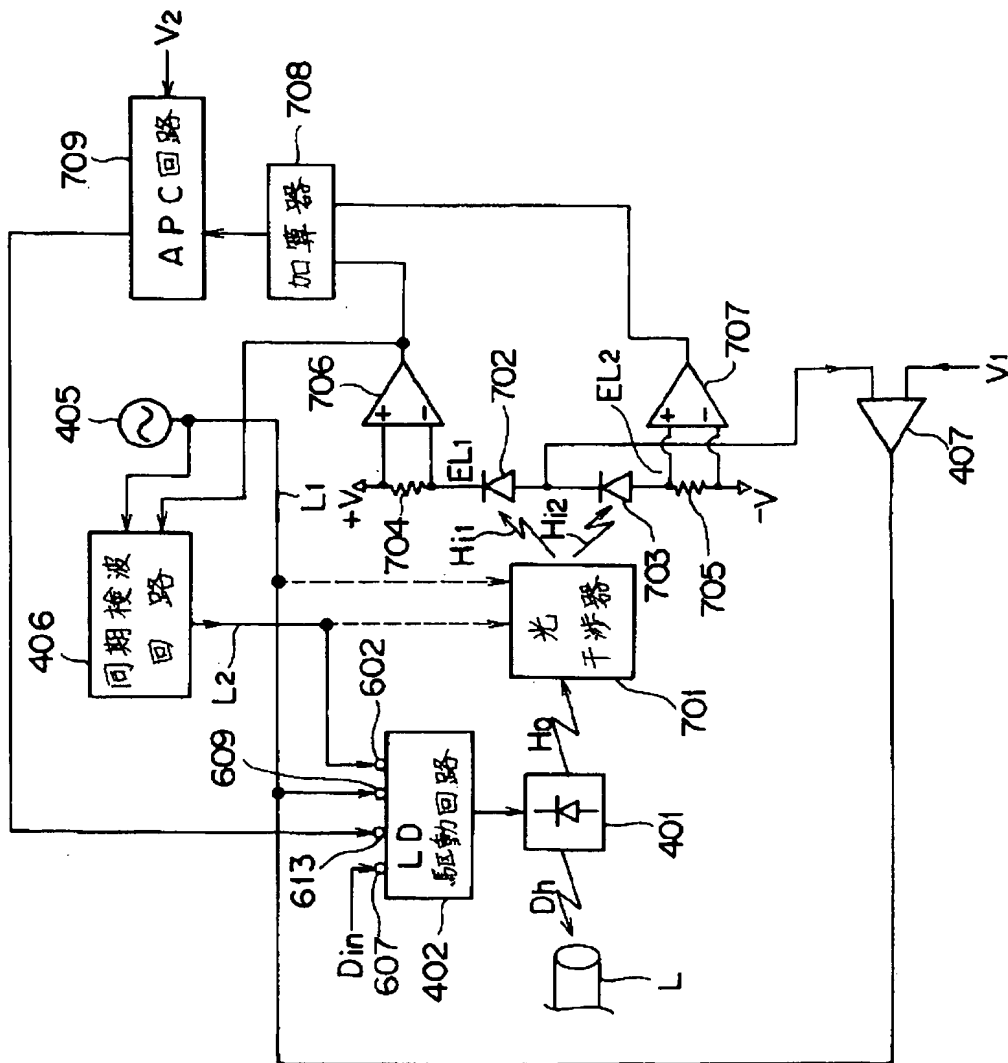
【図14】

図13のI-L特性の各点におけるFM変調効率の周波数特性(A)及び光周波数偏移量(B)を示すグラフ。



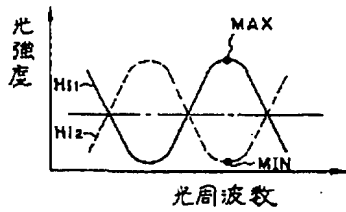
【図15】

第1の構成の第2実施例図



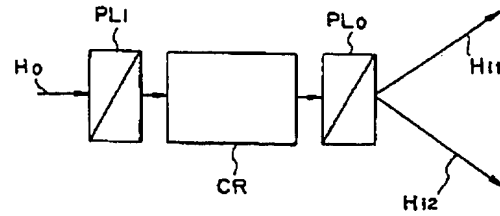
【図17】

図16における2つの干渉光の光周波数分利特性を示す図



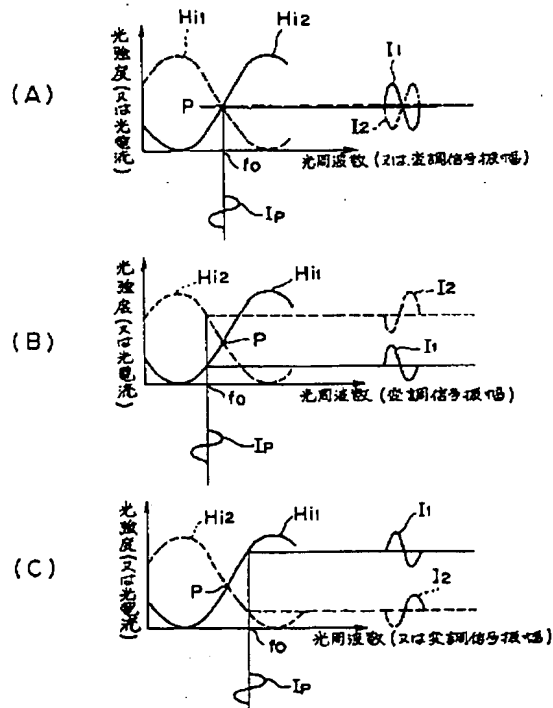
【図20】

相補的な2つの干渉光を得る他の光干渉器を示す図



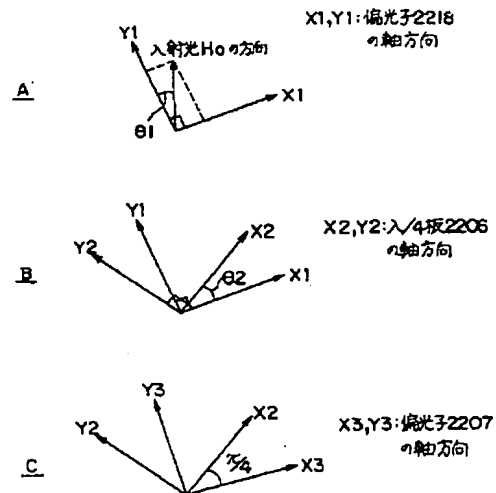
【図24】

図23の装置における動作点安定化の原理説明図



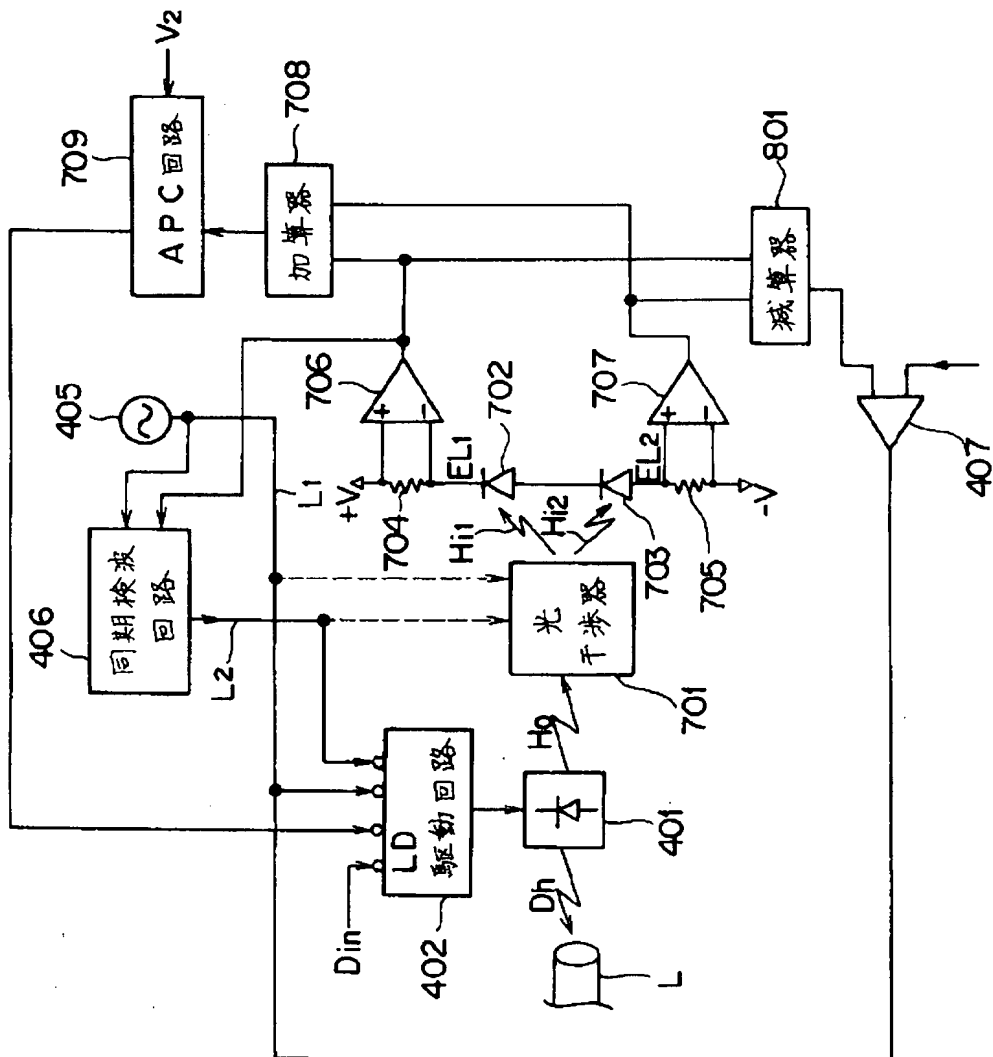
【図28】

図27の実施例における軸関係を示す図



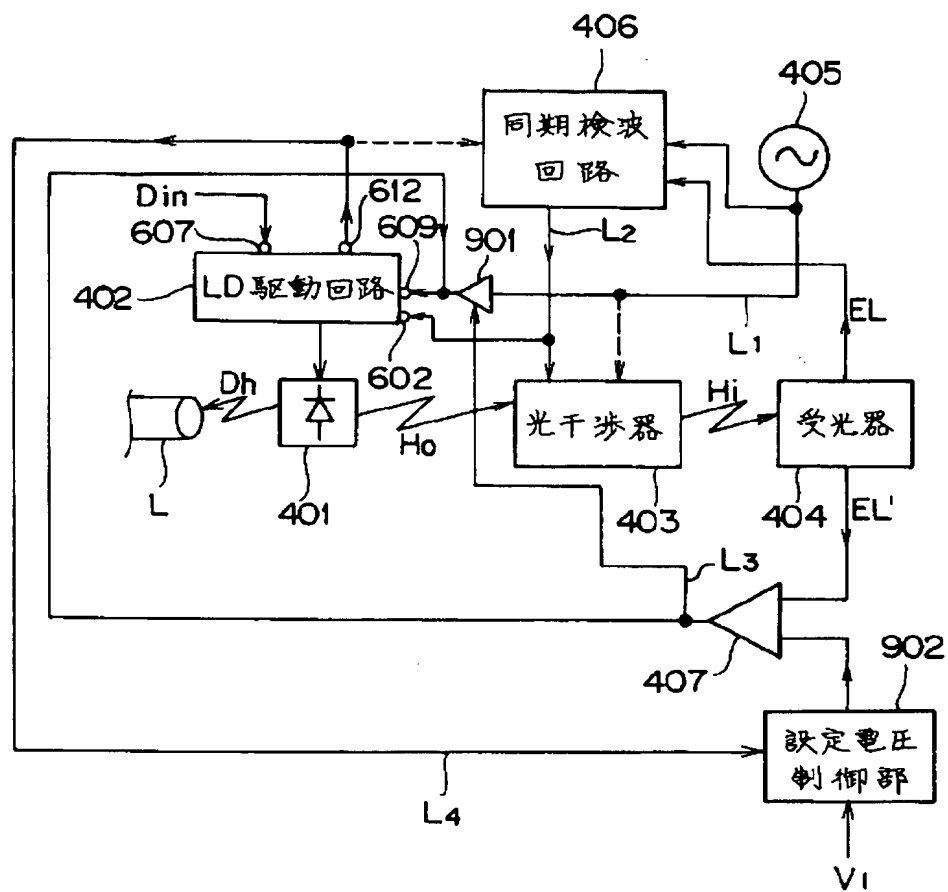
【図 2 1】

第 1 の構成の第 3 実施例図



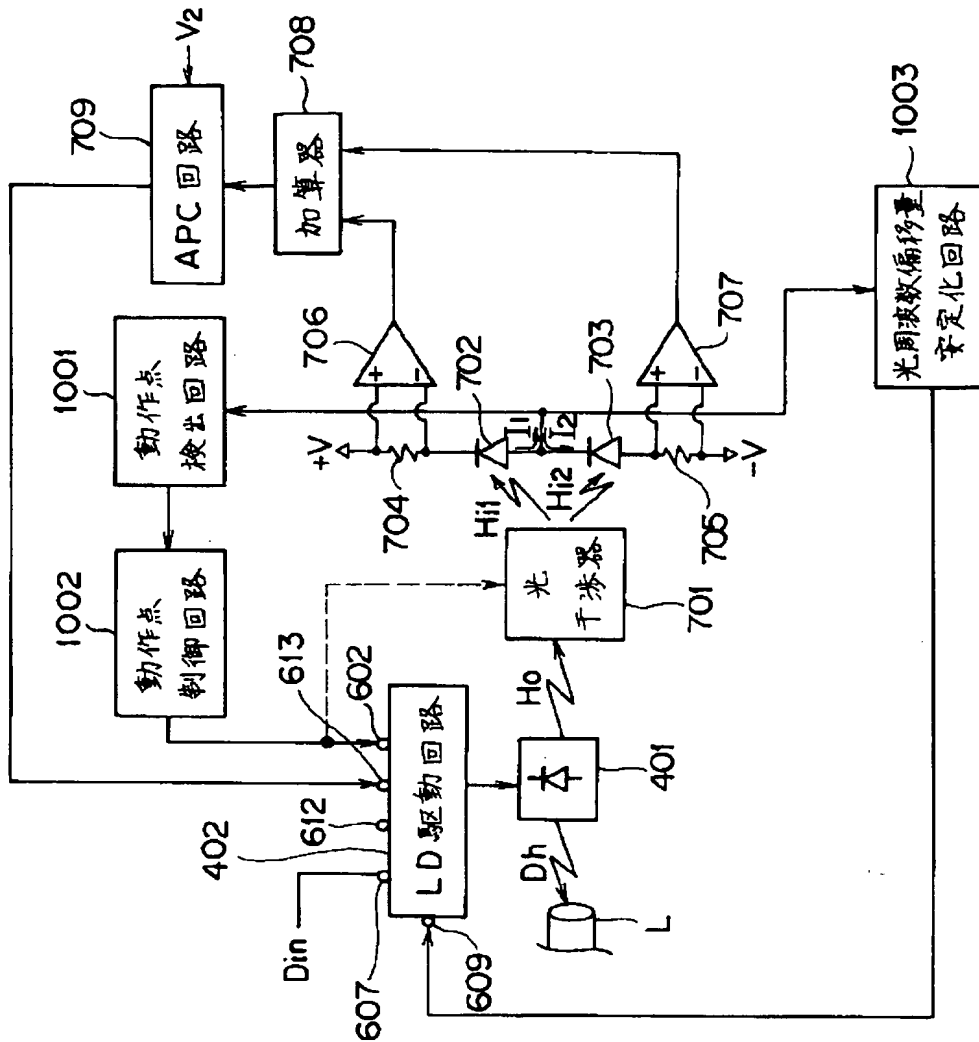
【図 2 2】

第 1 の構成の第 4 実施例図



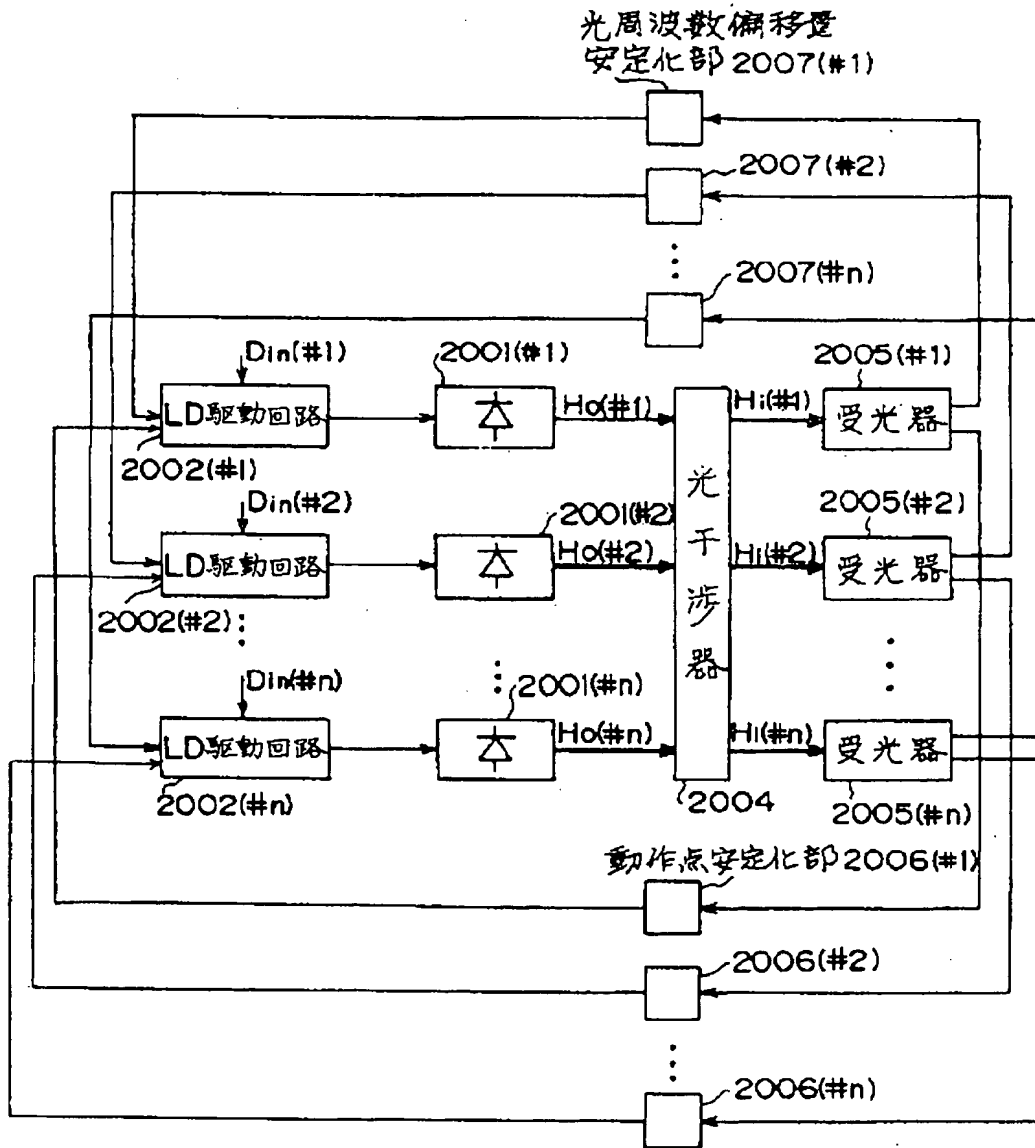
【図 2 3】

第 1 の構成の第 5 実施例図



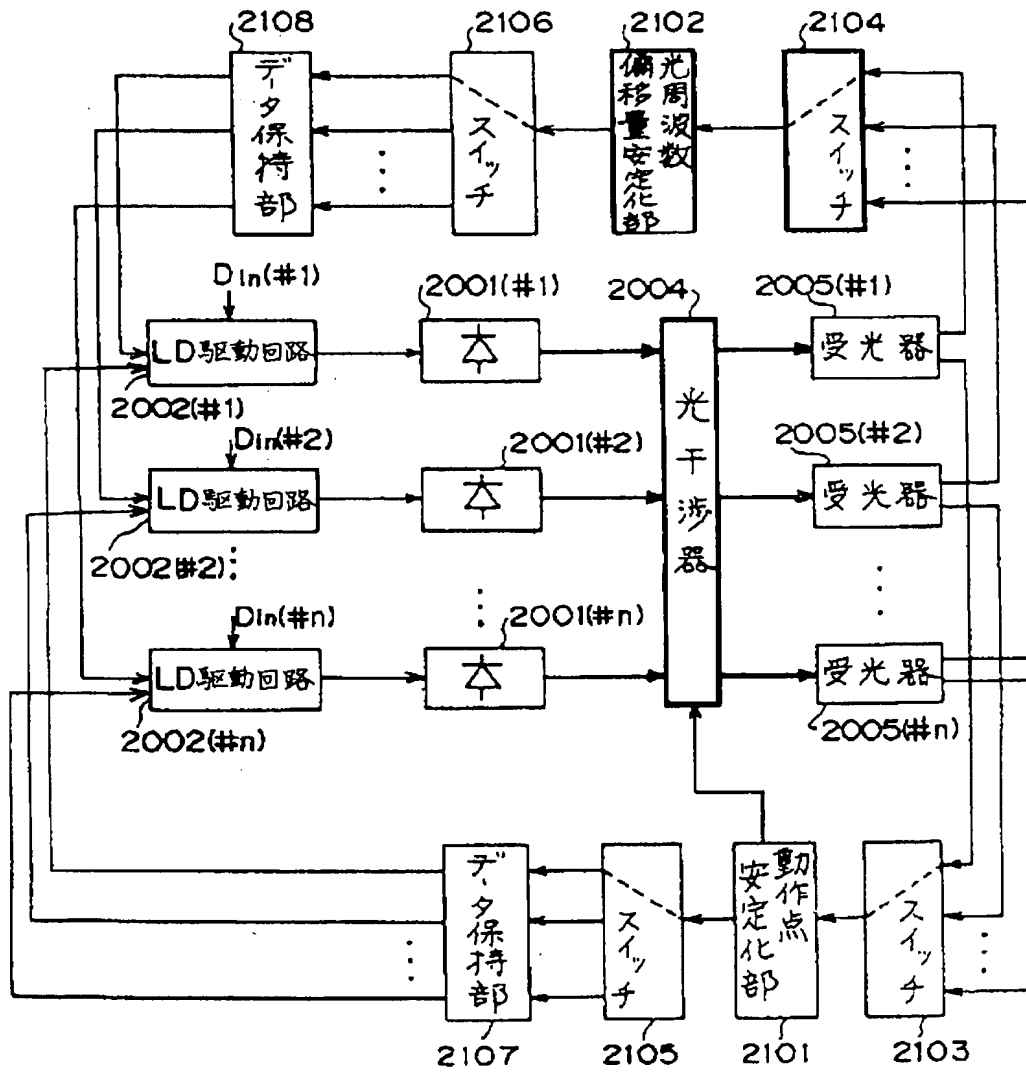
【図 25】

第 1 の構成の第 6 実施例図



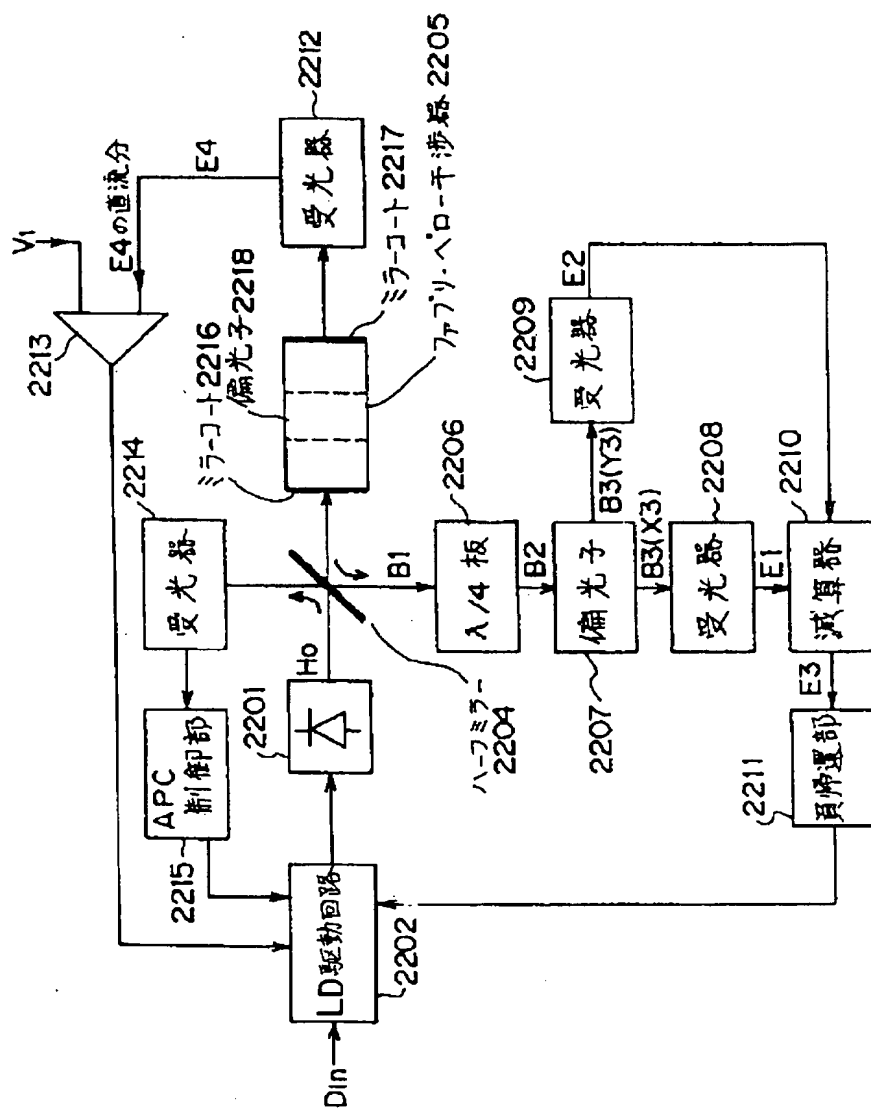
【図 26】

第 1 の構成の第 7 実施例図



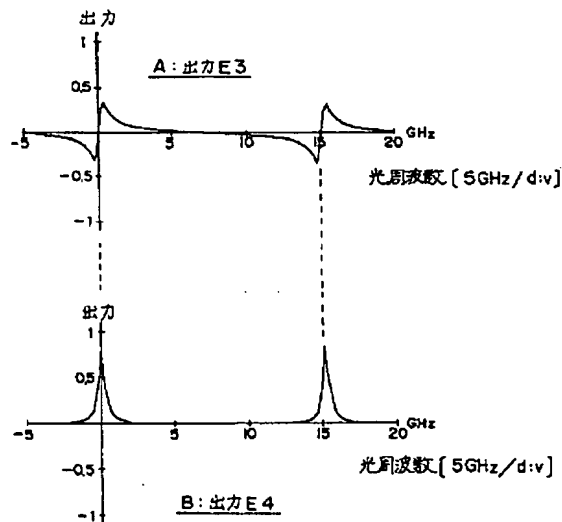
【図 27】

第2の構成の実施例図



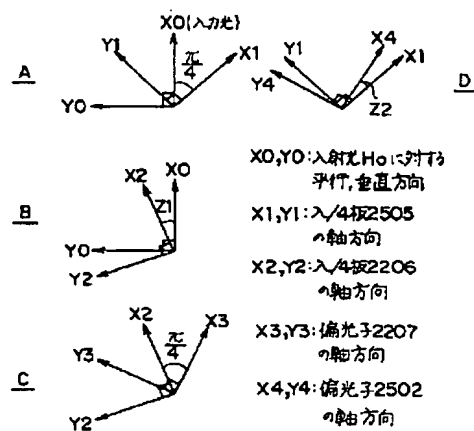
【図 2 9】

図 27 の実施例における特性図



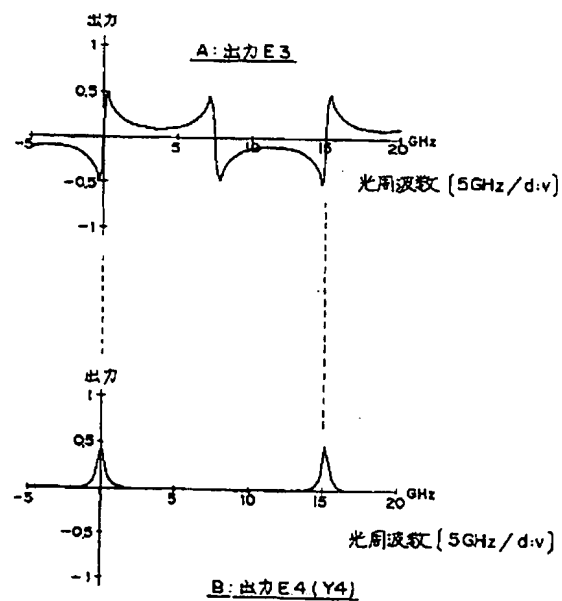
【図 3 1】

図 30 の実施例における軸関係を示す図



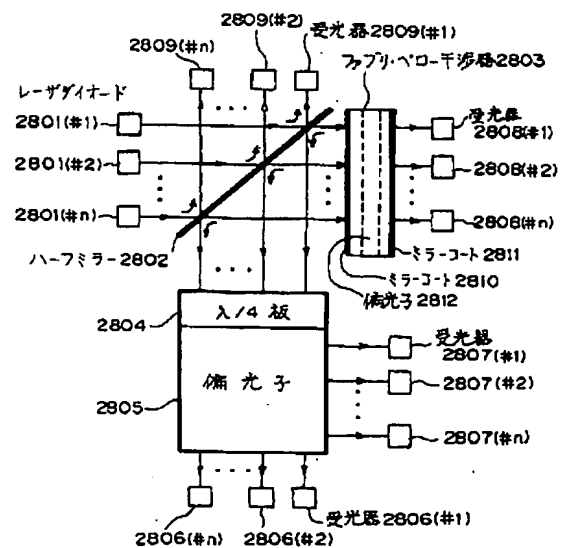
【図 3 2】

図 30 の実施例における特性図



【図 3 3】

第 2 の構成の他の実施例図



第3の構成の実施例図

